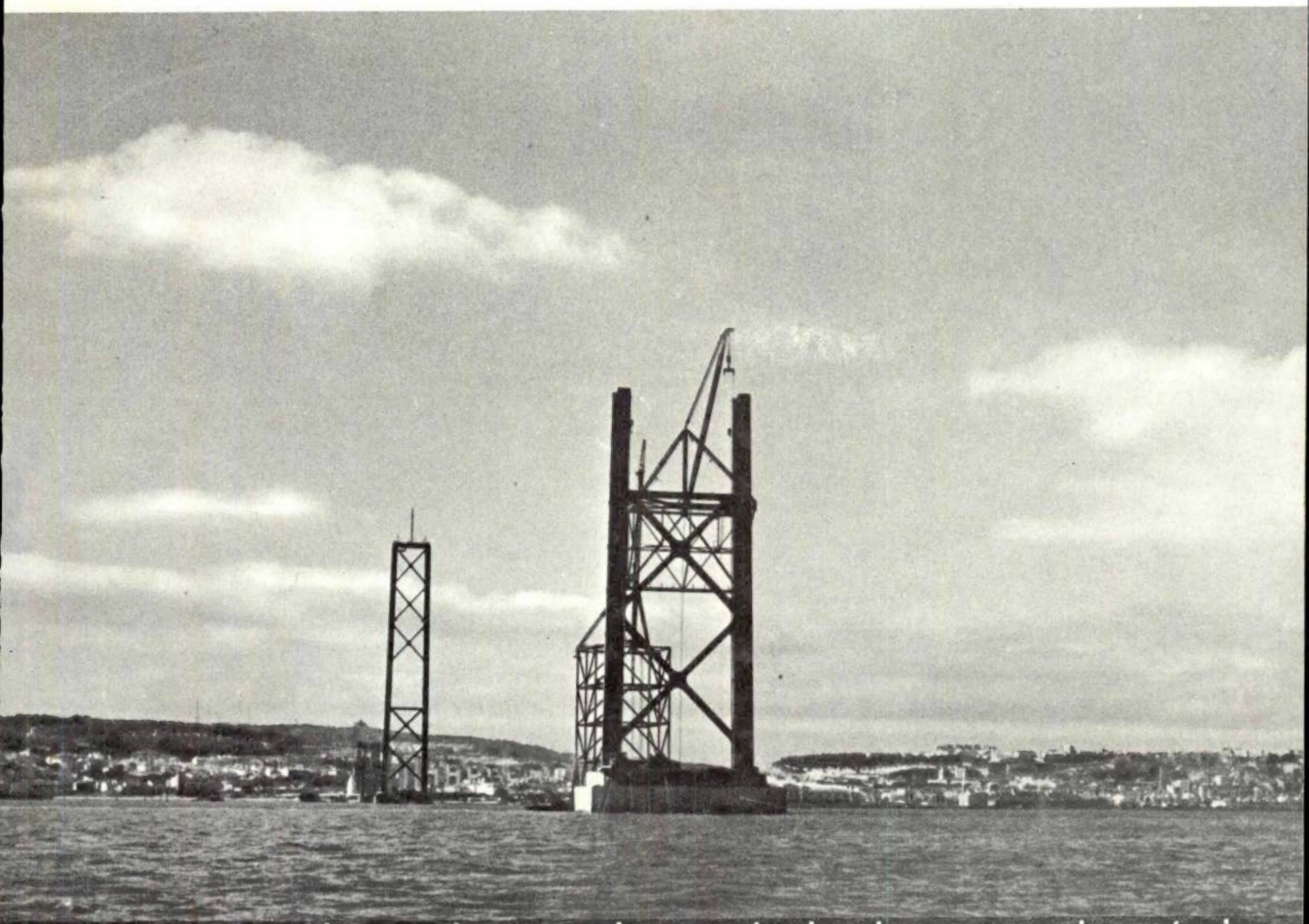
técnica



339

associação dos estudantes do instituto superior técnico

junho 1964

revista de engenharia

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão – Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

confiança para a construção com

materiais novobra

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

pavimentos
coberturas
vigas de grande vão
asnas
perfis

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS, NOVOBRA, LDA.
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º D - TEL. 77 48 32/766446 - LISBOA-5

A FORJAL tem por objecto o exercício especializado da indústria de FORJAMENTO em SÉRIE, em instalações modernamente equipadas, capazes de satisfazer a crescente procura de PEÇAS e COMPONENTES FORJADOS para:

- máquinas motrizes, máquinas operatórias, máquinas ferramentas,...;
- automóveis, camiões, tractores e outros veículos;
- ascensores, monta-cargas e aparelhagem de movimentação;
- material de caminho de ferro;
- motores, redutores e outra aparelhagem de accionamento;
- máquinas de costura, de escrever, de calcular, de contabilizar, registadoras,...;
- ferramentas e utensílios;
- acessórios para canalizações;
- ferragens para linhas de alta tensão;
- correntes e cadeias;
- aprestos marítimos e construção naval;
- enfim, a mais diversa aparelhagem mecânica e eléctrica.

forjal – CONSÓRCIO PORTUGUÊS DE FORJAGEM, LDA.

RUA DO CAMPO ALEGRE, 606-1.º • PORTO
TELEG. FORJAL-PORTO / TELEF. 65837

TÉCNICA

Ano XXXVIII - N.º 339 Junho de 1964

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-1. * TELEF. 775449

DIRECTOR
J. M. VIEGAS GONÇALVES
ADMINISTRADOR
J. F. GOMES DE PINA
SECRETARIO
F. G. KNOPFLI BATORÉU
REDACTORES
M. HELENA ALVES
L. M. C. BARBOSA COLEN
H. L. GIRÃO PINA

PUBLICAÇÃO PERIÓDICA MENSAL

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar Português e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

NUMERO AVULSO 15$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — PONTE SOBRE O TEJO — A torre Norte já concluída atingindo a cota de 190,50 m e a torre Sul atingindo a cota de 98,60 m

Págs.

Energia das ondas e transporte litoral
Por José Castanho 523

Contribuição para uma teoria do cubilote
Por José Joaquim Delgado Domingos 529

Corrosão catódica do chumbo
Por Carlos Miguel de Andrade Picôto e Rui de Matos Oliveira Sérgio 541

Código de boa prática em matéria de publicações científicas 553

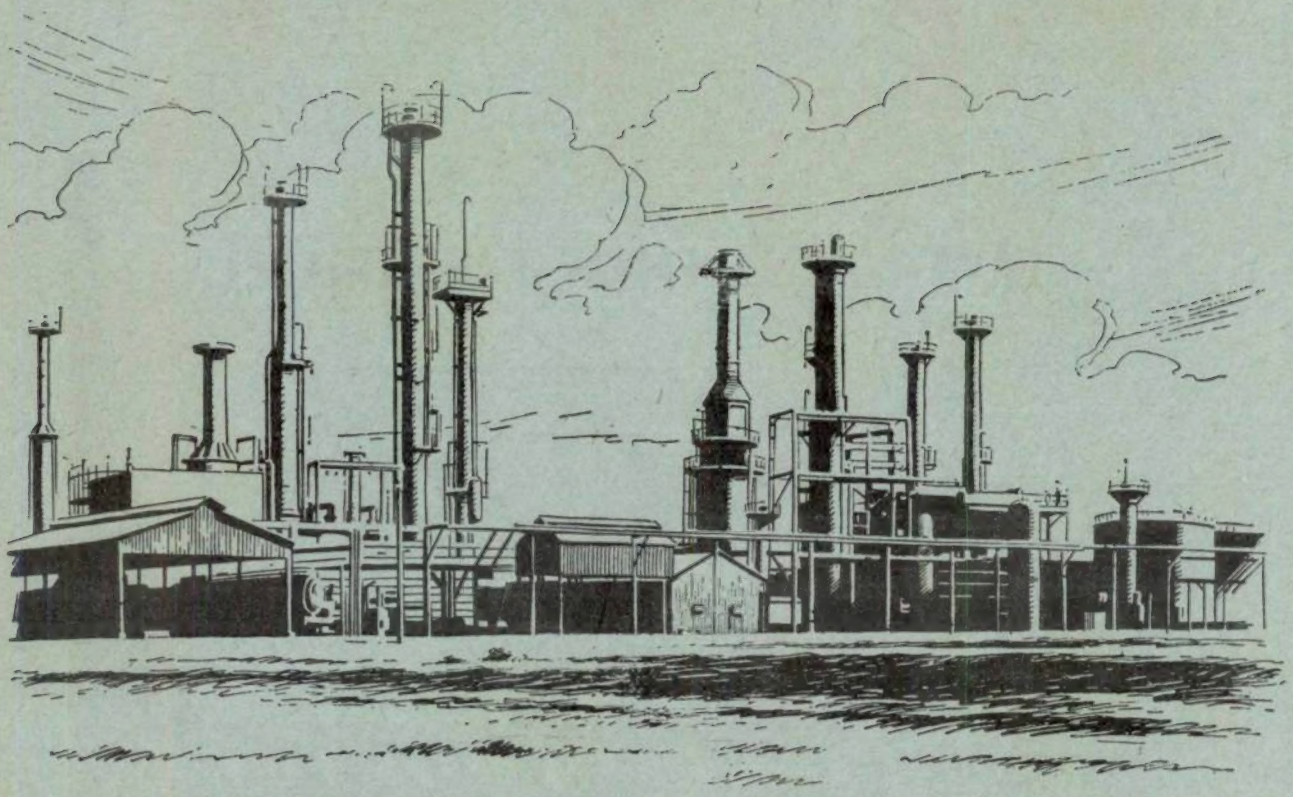
Do Mundo Técnico 557

Biblioteca 563

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

	Pág.
A	
Aguiar & Melo, Lda.	XXXVIII
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXXVII
Asea Eléctrica Ld.ª	XX
Auto-Lusitânia	XXIV
Azevedo & Fessi	LXIV e XLVI
B	
B. P.	XXXI
C	
CIDEX	IV
CIDLA	XXIX
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos	IX
Companhia Portuguesa de Trefilaria	XXIV
Companhia União Fabril	XIV
C. Santos, Ltd.ª	V e VI
E	
Electrotécnicos Reunidos	XXX
Electro-Arco, Ltd.ª	IV
Empresa de Cimentos de Leiria	XLVI
Empresa Electro Cerâmica	XLI
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XXVI
F	
Fábrica Portugal	II
Fanafel	XVI
Filtros Filfro	XX
Forjal	2.ª da capa
Fundações Franki, Lda.	I
G	
G. F.	XXXIII
Guedes & Almeida, Lda.	XLIII
H	
Hidrel	XXIV
Harker Sumner & C.ª, Ltd.	XLVIII
I	
I. C. I.	XXXVI
Impermeábilis	XXVI
I. S. T.	XLVIII
Isolux, Lda.	XLVI
J	
Jayme da Costa, Lda	XIX
Johann Keller	XXXII
M	
MAGUE	XIII
Metalúrgica Duarte Ferreira	XXVIII
Monteiro Gomes, Lda.	XLII
Monterroso & C.ª, Lda.	XLVI
N	
Novobra, Lda.	2.ª da capa
O	
Orlando Fernandes	XVI
P	
Papelaria Fernandes	XLV
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª	III
Q	
Quimicor, S.A R.L.	XXV
S	
Setal	XLIV
Shell	XVIII
Siemens	XV
SMEIA	XXI
Sociedade de Electricidade Brown Boveri	4.ª da capa
Soc. Michaelis de Vasconcelos	XII
Soc Const. Amadeu Gaudêncio	XXXV
Sociedade Industrial Metalúrgica	XXXV
Sociedade Portuguesa Cavan	VIII
Soc. Electron	XXVI e XXXVII
Sondagens e Fundações, A Cavaco	IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª	XXXV
Sonorte	XXVII
Sorval	XXXIX
Standard Eléctrica	VII
S. T. E. T.	XXI
T	
Telemec	XXXII
Torrens	XLVIII
Trelleborgs	XXXIV
V	
Vasco Pessoa, Lda.	XXIV
W	
Wild Portugal, Lda.	XVII
W. Schmidt	XLI



Refinaria da Sonarep
(Matola — Moçambique)

Assente sobre

ESTACAS FRANKI

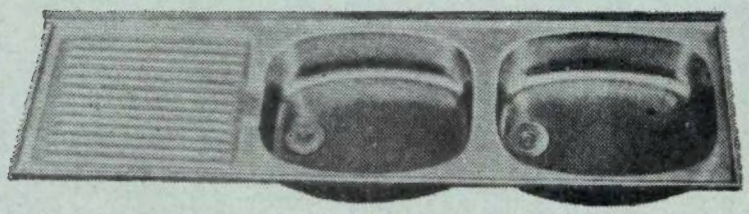
FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

Rua Braamcamp, 13, 3.°
LISBOA

★

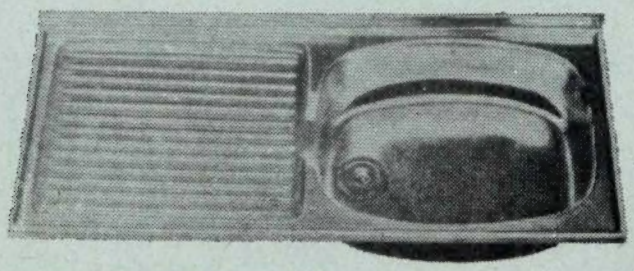
Telef. PPC 73 41 12
End. Teleg. «FRANKI»

LAVA-LOUÇAS EM AÇO INOXIDAVEL



Modernize os lares de Portugal, usando nas suas cozinhas Lava-Louças em AÇO INOXIDÁVEL. Concepção e execução da

FABRICA PORTUGAL

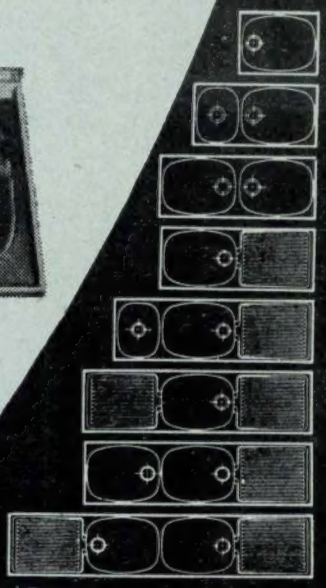


elegantes e higiénicos · duração ilimitada · revestidos de isolante especial · fornecidos com sifão de segurança · não partem a louça

- 8 MODELOS STANDARD · OUTROS MODELOS FORA DE SÉRIE
- MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES
- IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

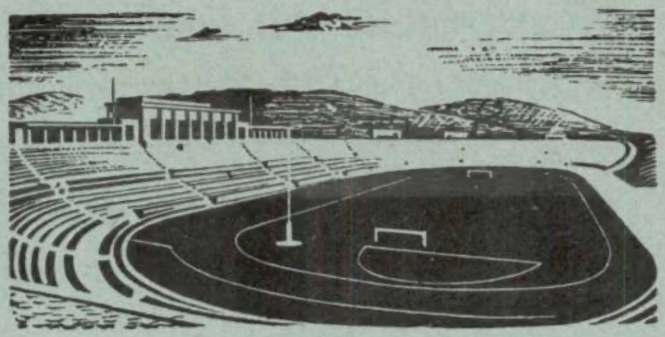
À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE
E NOS SEUS SALÕES DE EXPOSIÇÃO E VENDA

PRAÇA DOS RESTAURADORES · RUA FEBO MONIZ



PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS AO SERVIÇO DA ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO DE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO, CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

RUA JARDIM DO REGEDOR, 24, 2.º
LISBOA
TELEF.: 32 43 14 — 32 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:

— Petróleos
— Indústrias químicas
— Construções navais
— Centrais eléctricas
— Alimentação de caldeiras
— Etc., etc.

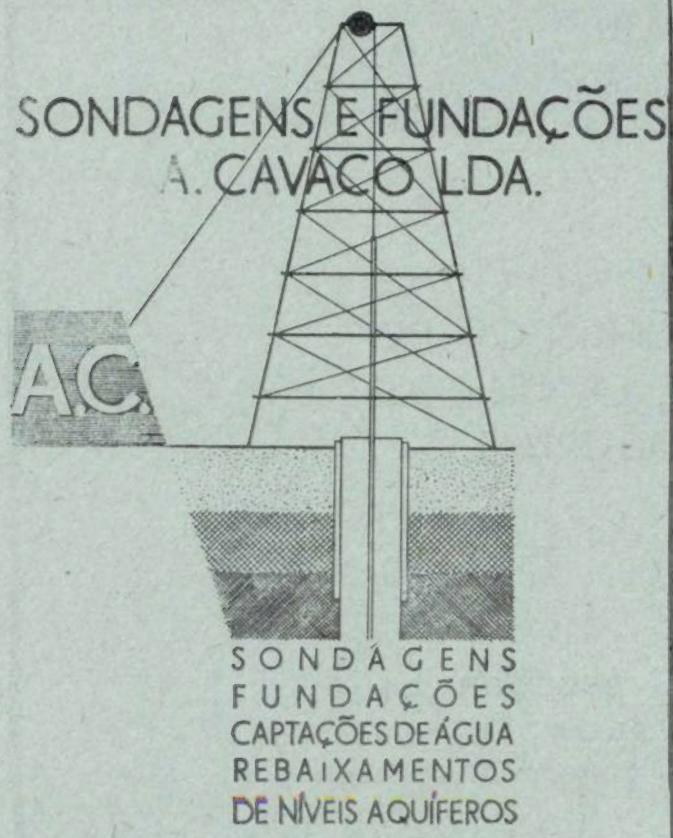
Sob as condições de funcionamento seguintes:

— Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
— Pressões: altas e baixas
— Temperaturas: −180° C + 500° C
— Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.°/Telef. 73 53 07/LISBOA 1



RUA RODRIGO DA FONSECA 62 R/C • LISBOA
TELEF. 53873-45451-57751-59562

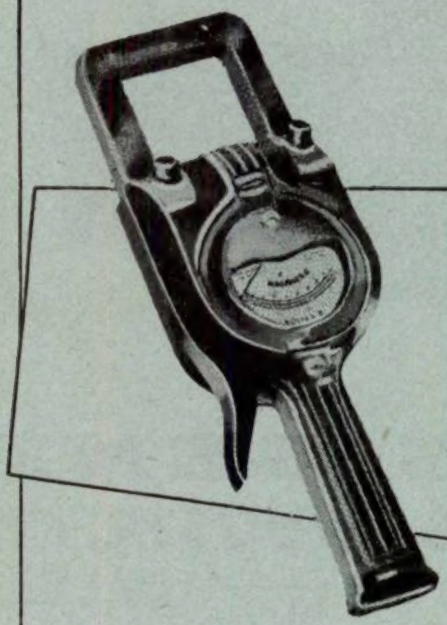
ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

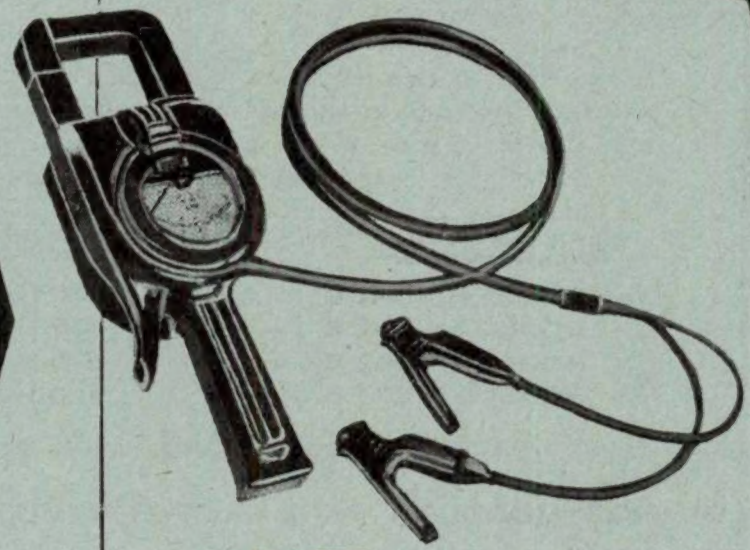
PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT—AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	



PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

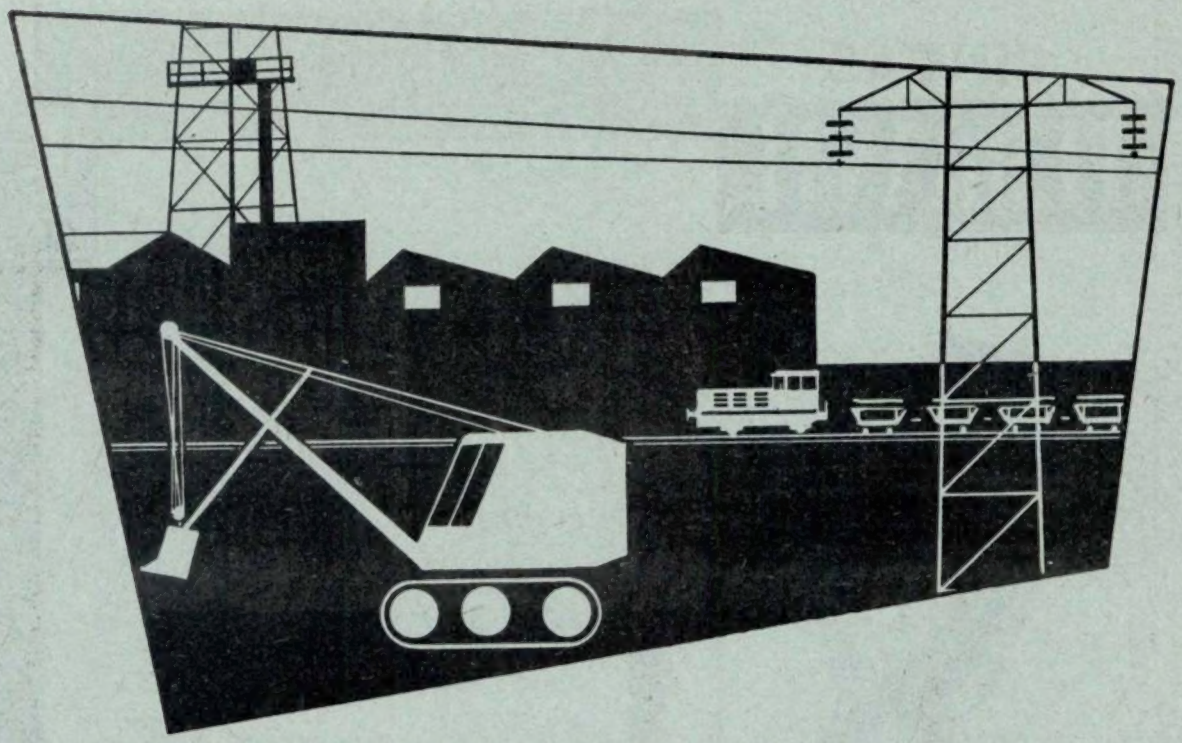
0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS, S. A. R. L.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL
AVENIDA DA LIBERDADE, 29-41 — LISBOA
160, RUA STA. CATARINA, 168 — PORTO



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES C. SANTOS, S. A. R. L. — DIVISÃO MARÍTIMA E INDUSTRIAL

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

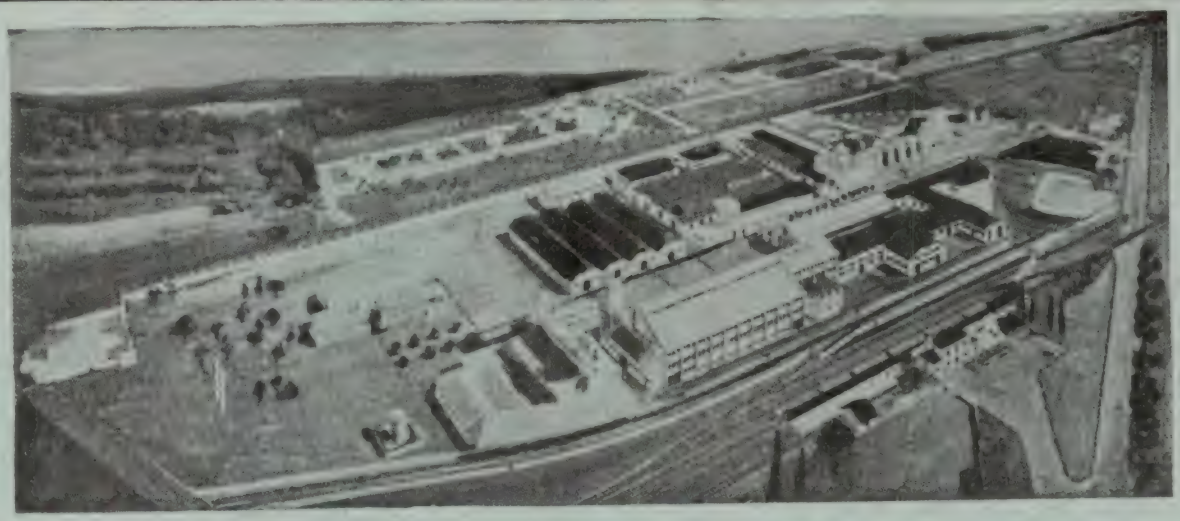
✸

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

✸

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA



COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CÁLCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 6 72 22

SEDE
Largo de S. Carlos, 4 2.º — LISBOA
Telefones 32 53 43 - 3 55 56 - 36 89 89

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

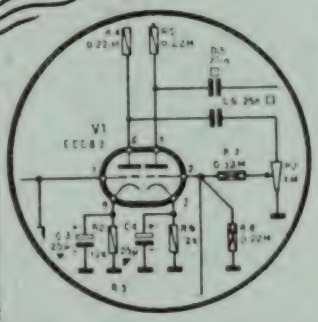
COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

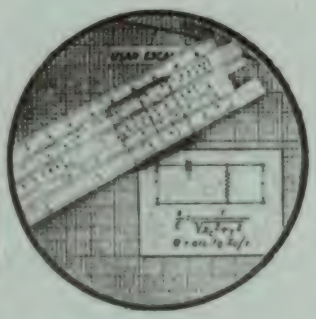
EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.°-LISBOA

FÁBRICA EM SÁCAVÉM

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM



CONCEBIDO BEM CALCULADO CONSTRUIDO



LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

TELECTRA

EMPRESA TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S. A. R. L.

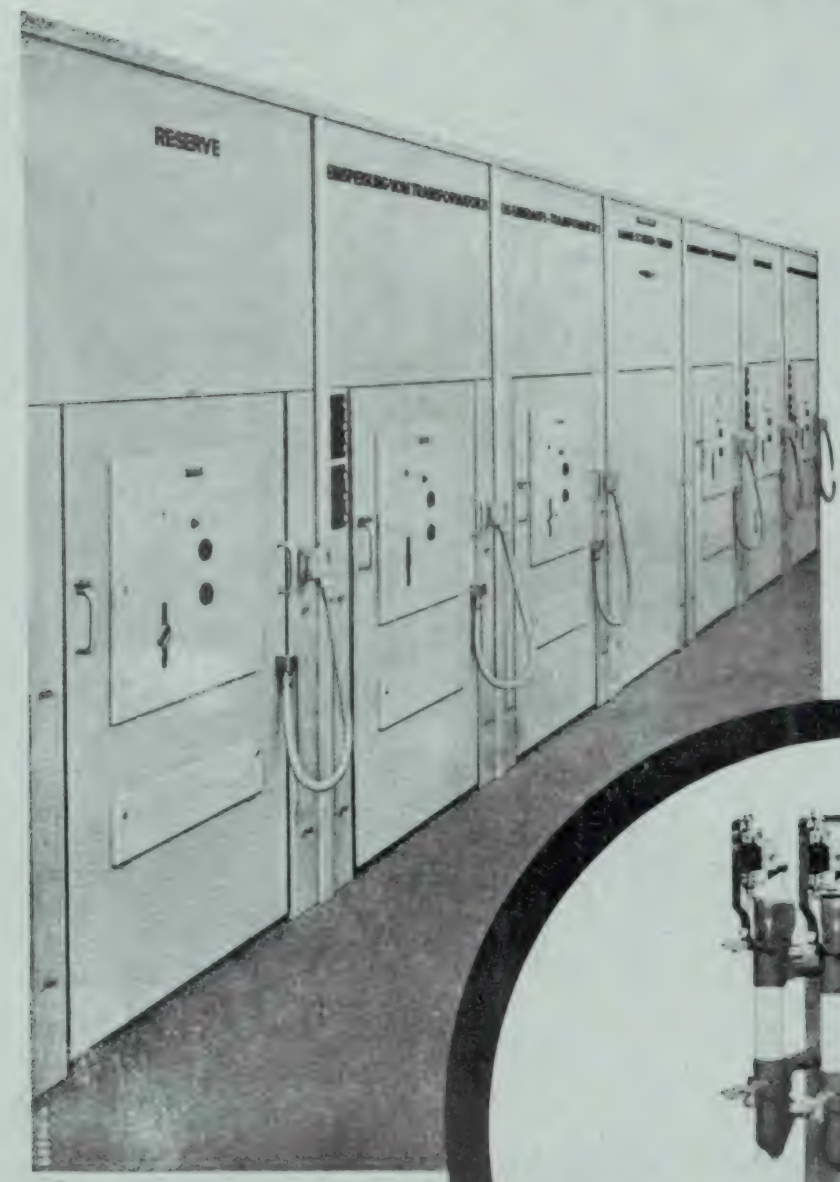
Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c
LISBOA — Tel. 68 60 72

Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

Disjuntor de pequeno volume de óleo

tipo MS



Seguro
Compacto
Manutenção mínima

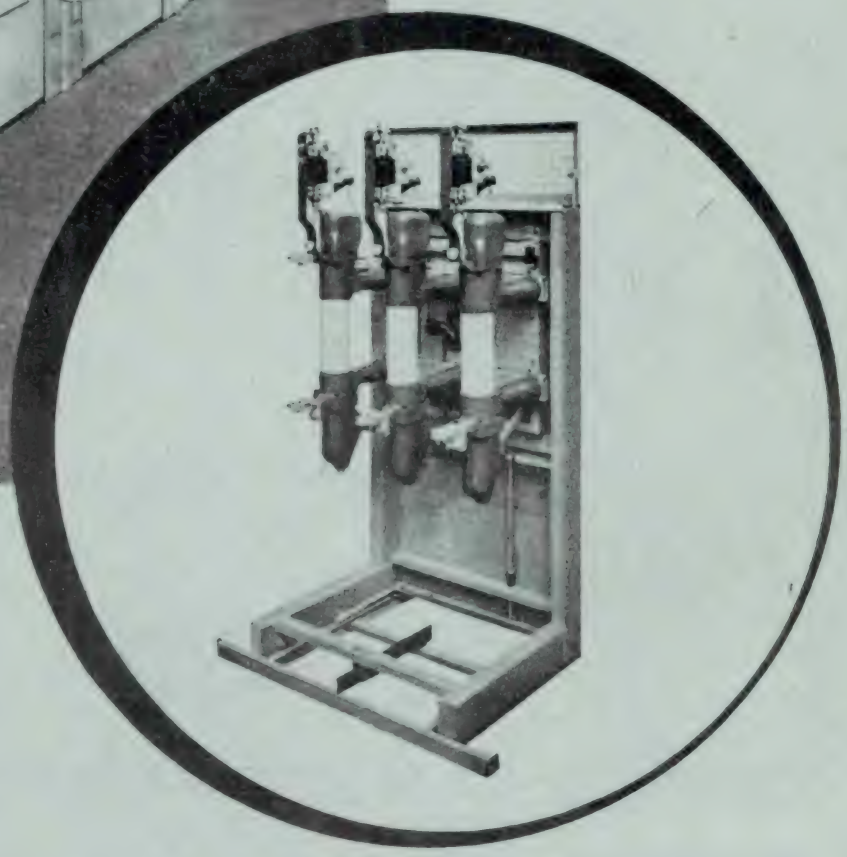
Comando por molas com carga por manivela ou motor

Disjuntor e comando previstos para reengate rápido

Disjuntor extractível sobre carro ou fixo sobre ferragens

Caixa de comando achatada portanto fácil inspecção; parede frontal lisa à face do quadro

Preço e prazo de entrega reduzidos



Tipos	MS 12.6	MS 24.6
Tensão nominal	12 kV	24 kV
Potência de corte	250 MVA	400 MVA

Representantes para Portugal e Ultramar: **Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda.**

PORTO — P. da Liberdade, 114, 3.° LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

TÉCNICA

DIRECTOR: J. M. VIEGAS GONÇALVES ADMINISTRADOR: J. F. GOMES DE PINA
SECRETÁRIO: F. G. KNOPFLI BATORÉU

Ano XXXIX — N.º 339 Junho de 1964

C. D. U. 532.593

ENERGIA DAS ONDAS E TRANSPORTE LITORAL *

POR JOSÉ CASTANHO
Engenheiro Civil
Chefe da Divisão de Portos e Praias
do Laboratório N. de Engenharia Civil

1. GENERALIDADES

Como é sabido, a rebentação das ondas oblíquas gera correntes longitudinais, de direcção sensìvelmente paralela à costa e que são normalmente conhecidas pela designação de «longshore currents». A intensidade destas correntes que se manifestam quase exclusivamente entre a linha de rebentação e a costa, depende das características das ondas (ângulo de ataque, altura e período) e das características da praia (declive e rugosidade).

Através da linha de rebentação, uma certa quantidade de energia E é transmitida na direcção de propagação das ondas. Dado que se trata de uma energia transmitida será lícito falar-se da componente paralela à praia dessa energia, a qual se escreverá E sen α, sendo α o ângulo de ataque das ondas ou seja a direcção que as cristas fazem com a linha de costa.

Consideremos a linha de rebentação e duas ortogonais vizinhas afastadas de dx (fig. 1).

Da energia que atravessa a linha de rebentação uma parte mantém-se na «longshore current» donde acabará por sair, quer de uma forma contínua quer de uma forma concentrada («rip currents»); outra parte é dissipada por atrito no fundo, enquanto que a restante se perde por rebentação (turbulência).

A distribuição da energia libertada na rebentação pelos três processos que acabamos de indicar depende em primeiro lugar do tipo de rebentação (progressiva ou mergulhante) e em segundo lugar das caracteríticas da onda e das da praia.

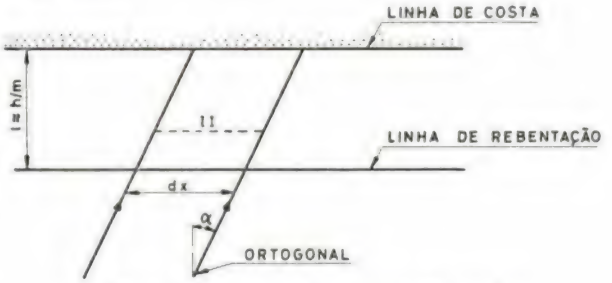


Fig. 1 — Esquema do ataque das ondas

As proporções em que essa distribuição se faz são ainda variáveis dentro da zona onde a «longshore current» se faz sentir, isto é, entre a linha de rebentação e a costa.

2. DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA TRANSMITIDA

2.1. *Energia dissipada por atrito no fundo*

Consideremos conhecida a velocidade média V da «longshore current» entre a rebentação e a costa [1].

[1] Para a finalidade do presente artigo é suficiente considerarmos um valor médio de velocidade da corrente. Num estudo mais detalhado que temos em curso, é tomada em consideração a variação da velocidade da «longshore current» entre a rebentação e a costa.

* Comunicação apresentada à IX Conference on Coastal Engineering, Lisboa, 1964.

Se designarmos por k o coeficiente de atrito e admitirmos que a força de atrito é proporcional ao quadrado de velocidade, a energia dissipada numa extensão dx será proporcional ao cubo da velocidade e escrever-se-á

$$E_d = k \rho V^3 l \, d_x$$

ou

$$E_d = k \rho V^3 \frac{h}{m} d_x \quad . \; . \; . \; . \quad (1)$$

onde ρ reprenta a massa específica da água; m o declive da praia e h a profundidade de água na rebentação.

As ondas na rebentação podem ser assimiladas a ondas solitárias que chegam de T em T segundos (T é o período) [1] e nessas condições a energia transmitida paralelamente à praia, em cada segundo é

$$E_t = \frac{2{,}2 \; gH^3}{T} \text{ sen } \alpha \cos \alpha \, dx \quad . \; . \; . \quad (2)$$

sendo H a altura da onda.

Segundo alguns autores é preferível considerarem-se ondas periódicas de características conhecidas ao largo. De qualquer modo, se forem conhecidas estas características, é sempre possível calcular a onda solitária que de T em T segundos transmite a mesma quantidade de energia que a onda periódica conhecida ao largo.

Por esta razão, continuaremos a assimilar as ondas na rebentação a ondas solitárias.

A relação s entre a energia dissipada por atrito no fundo (eq. 1) e a componente da energia transmitida paralelamente à costa (eq. 2) é

$$s = \frac{k \rho V^3 h m dx}{2{,}2 \; g \; H^3 \text{ sen } \alpha \cos \alpha \, dx \; T} \quad (3)$$

Se na equação (3) introduzirmos a velocidade de propagação da onda solitária quando rebenta $C = \sqrt{g(h+H)}$ com $H = 0{,}78$ h e definir-mos declividade da onda pela relação $\delta = \frac{H}{L} = \frac{H}{CT}$, aquela equação escrever-se-á

$$s = \frac{(V \, C)^3}{0{,}38 \; A \text{ sen } 2 \, \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

onde A é o parâmetro sem dimensões $A = \frac{m \, \delta}{k}$

2.2. *Energia contida na «longshore current»*

Segundo a teoria da onda solitária, o volume de água Q que é posto em liberdade na rebentação por cada faixa de largura dx é

$$Q = 2 \; h^2 \cos \alpha \; dx \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Se for V a velocidade média deste volume de água, a sua energia cinética será

$$E_c = \frac{1}{2} Q V^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

A relação t entre a energia cinética da «longshore current» (eq. 6) e a componente da energia transmitida paralelamente à praia, poderá escrever-se, tomando a equação (5) em consideração

$$t = \frac{(V/C)^2}{0{,}64 \text{ sen } \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 7)$$

2.3. *Energia dissipada por rebentação (turbulência)*

A fracção de energia dissipada pelo próprio fenómeno da rebentação será

$$r = 100\,\% - (s + t)\,\%$$

3. *Cálculo da velocidade média da «longshore current»*

Para o cálculo da velocidade média da «longshore current» faremos aplicação do teorema das quantidades de movimento.

Se for Q_b o volume de água transportado pela onda solitária na rebentação e C_b a velocidade de propagação, a componente paralela à praia da quantidade de movimento transmitida na unidade de tempo será

$$Q_b \times C_b \text{ sen } \alpha \cos \alpha \; dx/T$$

Sendo V a velocidade média da longshore current, o volume Q_b' conserva ainda uma quan-

---

[1] Munk: «The solitary wave theory and its application to surf problems». Annals of the New York Academy of Sciences — Vol. 51 — 1949.

tidade de movimento na direcção da praia igual a $Q_b\ V \cos \alpha\ dx/T$.

Segundo o teorema das quantidades de movimento, a variação da quantidade de movimento na unidade do tempo é igual à força de atrito. Será portanto:

$$\frac{Q_b\ C_b\ \text{sen}\ \alpha \cos \alpha}{T} - \frac{Q_b\ V \cos \alpha}{T} = k \rho V^2 . \frac{h}{m} \quad (8)$$

Se calcularmos V a partir da equação (8) e substituirmos o seu valor nas equações (4) e (7) é possível calcular os valores de s e t ou seja as fracções, relativamente à energia que chega, respectivamente da energia dissipada por atrito no fundo e da energia contida na longshore current.

Contudo, se aplicássemos a expressão (8) tal como está escrita atrás, verificaríamos que, para certos valores de α, a soma $s + t$ ultrapassava 100 %, o que é absurdo. Este facto levou-nos a fazer algumas considerações sobre a quantidade de movimento realmente disponível para a geração da longshore current.

No presente estudo consideraremos apenas o caso de praias com muito pequena inclinação (digamos 2 por cento ou menos), onde a rebentação se fará gradualmente e de tal maneira que a onda conserva permanentemente a sua forma, mantendo-se pràticamente simétrica. Por outras palavras, a altura da onda diminui linearmente com a profundidade e a diminuição da energia transmitida corresponde exactamente à energia progressivamente perdida na rebentação. A altura da onda segue assim permanentemente a lei $H = 0{,}78\ h$.

Num trabalho em curso, estamos considerando o caso de ondas que, ao rebentar, dão origem a um macareú.

Consideremos então duas secções vizinhas I e II (fig. 1) e determinemos a variação da quantidade de movimento entre as duas secções

$$d\,M = d\,(Q\,C) = Q\,d\,C + C\,d\,Q$$

Para as ondas solitárias na rebentação é $Q \simeq 2\ h^2$ e $C = 1{,}78\ g\ h^{1/2}$. Portanto

$d\,Q = 4\,h\,d\,h$ e $d\,C = \frac{1}{2}\,C\,h^{-1}\,d\,h$. Daqui resulta

$$\int_{h_1}^{h_2} C\,d\,Q = \frac{4}{5}\,(Q_1\,C_1 - Q_2\,C_2)$$

$$\int_{h_1}^{h_2} Q\,d\,C = \frac{1}{5}\,(Q_1\,C_1 - Q_2\,C_2)$$

Se considerarmos que entre as secções I e II a quantidade de movimento disponível para a formação da longshore current é apenas o produto do volume de água libertado $d\,Q$ pela velocidade de propagação C, a quantidade de movimento disponível entre a linha de rebentação e a costa será

$$\int_{h_b}^{o} C\,d\,Q = \frac{4}{5}\,Q_b\,C_b$$

A parcela $\int_{h_b}^{o} Q\,d\,C = \frac{1}{5}\,Q_b\,C_b$ corresponderia a uma quantidade de movimento perdida, em virtude de a onda que sai por II ter velocidade de propagação $C - d\,C$ em vez da velocidade C correspondente à onda que entra por I.

O teorema das quantidades de movimento escrever-se-á agora

$$\frac{4}{5}\,\frac{Q_b\,C_b\ \text{sen}\ \alpha \cos \alpha}{T} - \frac{Q_b\,V \cos \alpha}{T} = k \rho V^2 \frac{h}{m} \quad (9)$$

Resolvendo a equação (9) em ordem a V e tendo em consideração que

$$Q_b = 2\,h^2,\ C_b = \sqrt{1{,}78\,g}\ h^{\frac{1}{2}} \quad \text{e} \quad \delta = \frac{H}{C_b\,T},$$

obtém-se a seguinte equação adimensional

$$\frac{T}{C_b} = 1{,}30 \cos \alpha\, A \left[\sqrt{1 + \frac{1{,}22\ \text{tan}\ \alpha}{A}} - 1 \right] \quad (10)$$

onde $A = \frac{m\,\delta}{k}$

A equação (10) mostra-nos que, para um dado ângulo de ataque α, a velocidade relativa $\frac{V}{C_b}$ é é apenas função do parâmetro $A = \frac{m\,\delta}{k}$.

4. CÁLCULO DAS PERCENTAGENS DE ENERGIA PERDIDAS POR ARTRITO NO FUNDO E POR REBENTAÇÃO

Substituindo o valor de $\frac{V}{C_b}$ dado pela expre-

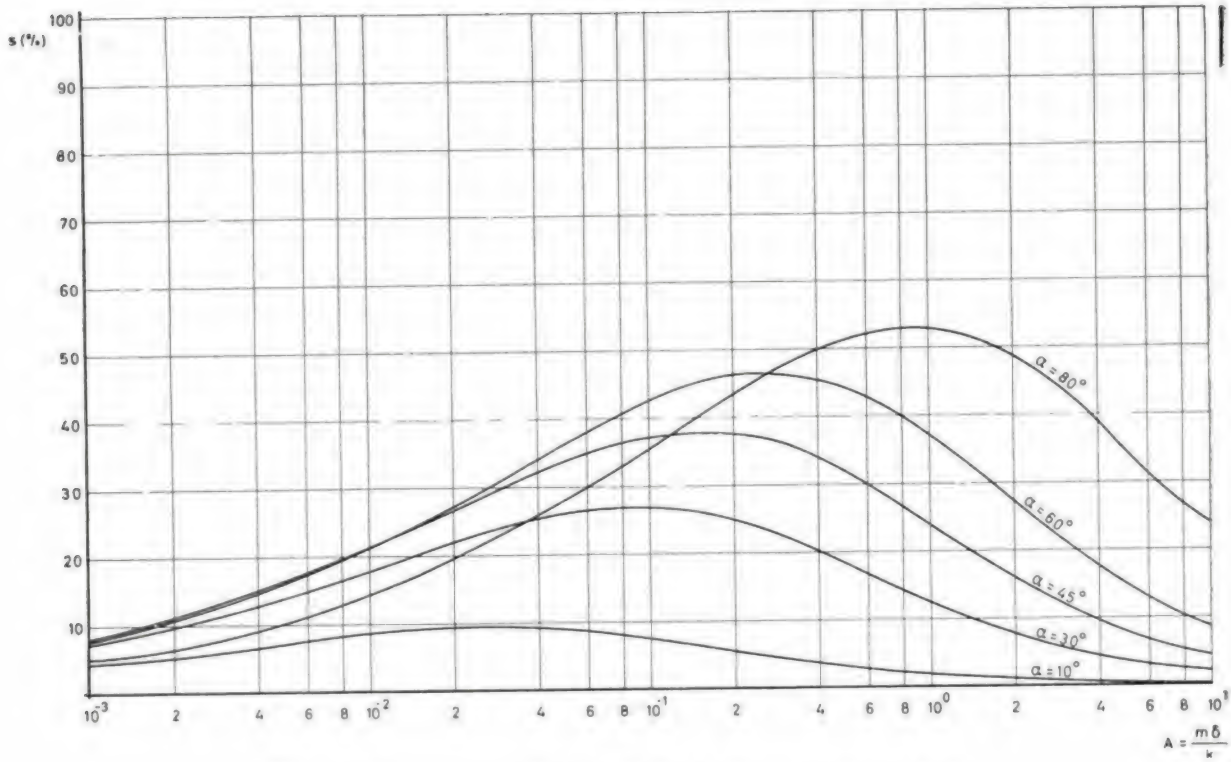


Fig. 2 — Percentagem de energia dissipada por atrito no fundo

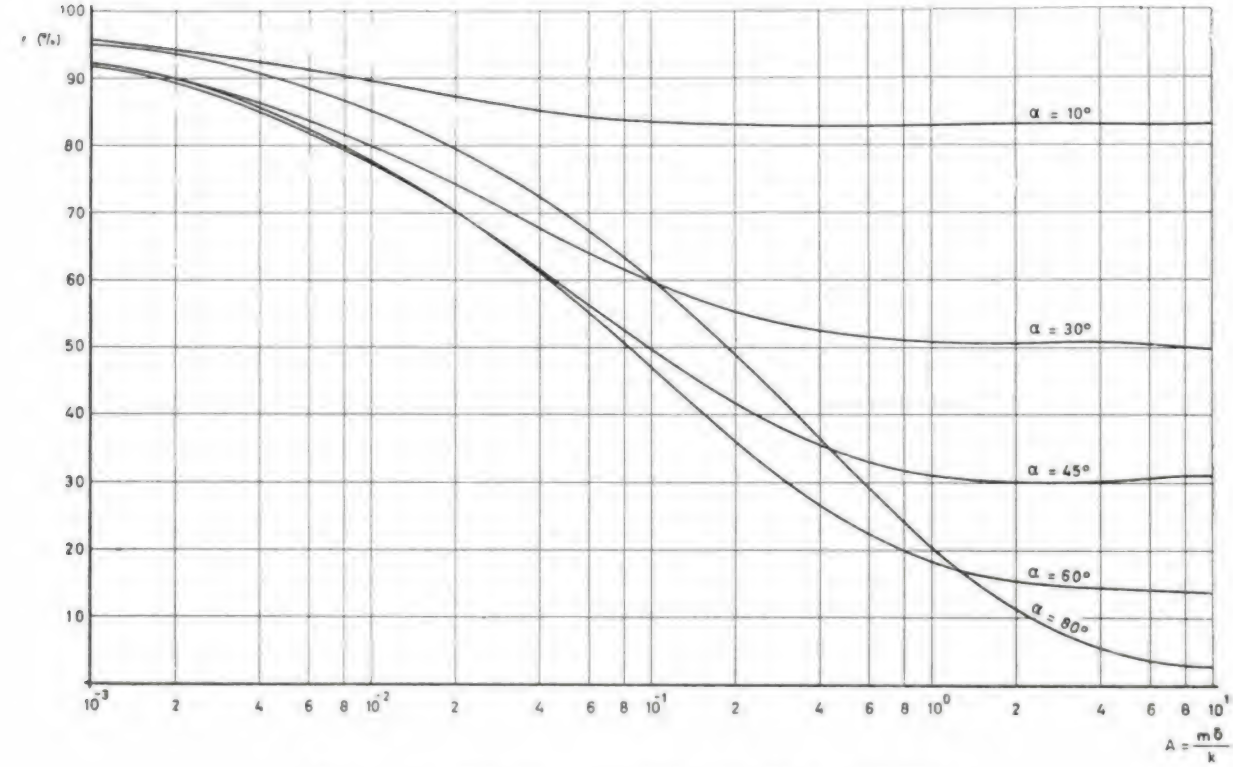
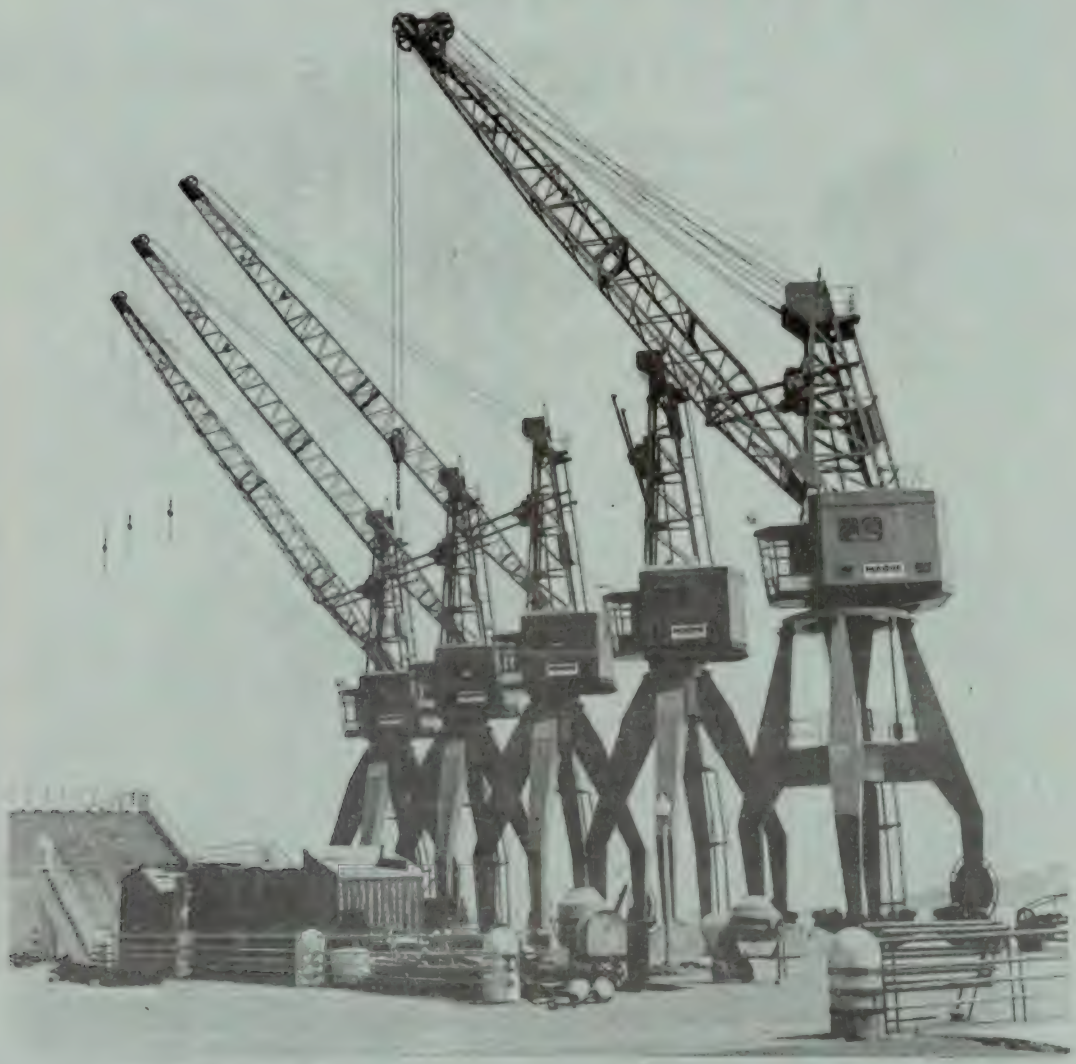


Fig. 3 — Percentagem de energia dissipada por rebentação

MAGUE



ASPECTO DE 5 GUINDASTES (2 de 1,5–3t./24m.; 2 de 3–6t./24m. – 1 em montagem ; 1 de 6–12t./20m.) INTEGRADOS NUM FORNECIMENTO DE 18 GUINDASTES À ADMINISTRAÇÃO GERAL DO PORTO DE LISBOA.

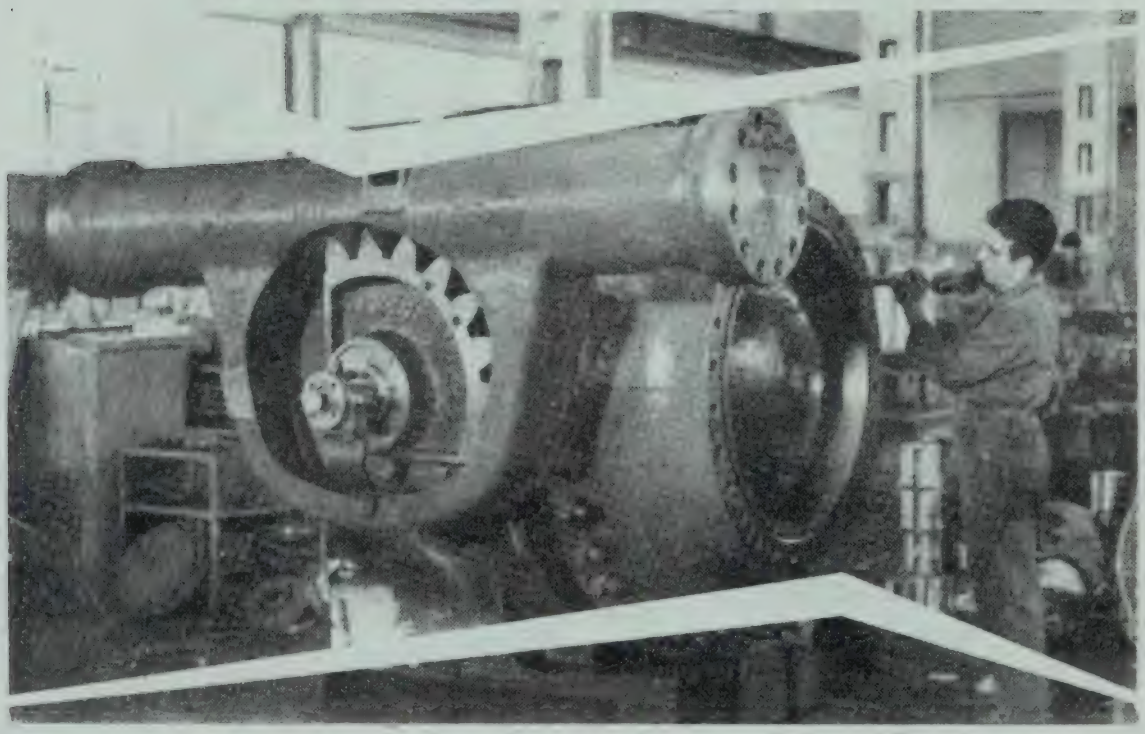
PONTES ROLANTES — *Projecto e fabrico*
GUINDASTES — *Projecto e fabrico*
APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS — *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey*
TURBINAS A VAPOR — *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie*
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

aços vazados
ferros meehanite
mecânica MÉDIA E PESADA
construções metálicas

COMPORTAS
TURBINAS
CONDUTAS FORÇADAS
RESERVATÓRIOS SOB PRESSÃO
PERMUTADORES DE CALOR



Centrais Hidráulicas

Válvula Esférica para Lomaum

DMM

DIVISÃO METALO-MECÂNICA
COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AVENIDA 24 DE JULHO, 170 — LISBOA 2 ✦ TELEFONES 67 04 21 E 67 20 61 ✦ TELEGRAMAS: METALOFABRIL

são (10) nas equações (4) e (7) é possível calcular os valores de s e t.

As figuras 2 e 3 mostram os valores de s e t para ângulos $\alpha = 10°$, $30°$, $45°$, $60°$ e $80°$ em função do parâmetro $A = \frac{m\delta}{k}$.

A figura 2 mostra que a percentagem s de energia perdida por atrito no fundo apresenta um máximo para um determinado valor de A variável com α.

Por outro lado, para valores de A não superiores a 0,3, a percentagem s varia com o ângulo α apresentando um máximo à volta dos 45 a 60°.

A figura 3 mostra que a energia perdida por rebentação é sempre grande (entre 85 e 95 %) para ângulos $\alpha = 10°$ e que, para ângulos maiores, a percentagem r é grande para pequenos valores de A, diminuindo progressivamente à medida que A aumenta.

5. TRANSPORTE SÓLIDO

A forma das curvas $s = f\left(\frac{m\delta}{k}\right)$, ou $s = f(\delta)$ para m e k constantes, tem um aspecto muito semelhante à forma da curva $Q_{sol} = f(\delta)$, o mesmo se podendo dizar de $s = f(\alpha)$ com um máximo entre $\alpha = 45°$ e $\alpha = 60°$.

Esta constatação permite-nos sugerir que o caudal sólido sob a forma adimensional poderá ser expresso em função de s, lembrando numa primeira tentativa, considerar Q_{sol} proporcional a s.

RESUMO

Quando as ondas rebentam numa praia, uma pequena parte da energia transmitida volta para o mar, devido a correntes de retorno; outra parte dissipa-se por atrito no fundo, enquanto que uma terceira parte se dissipa pelo próprio fenómeno da rebentação

Se a rebentação é oblíqua, o teorema das quantidades de movimento permite-nos calcular as proporções em que a energia transmitida se distribui pelos três processos mencionados; retorno; atrito no fundo e rebentação (turbulência).

Verifica-se que a energia dissipada por atrito (s) e a energia dissipada por rebentação (t), expressas sob a forma adimensional, dependem da obliquidade das cristas das ondas (α) e do parâmetro sem dimensões $\frac{m\delta}{K}$, onde m é o declive da praia, δ a declividade das ondas e K a rugosidade do fundo.

O aspecto da curva s em função de $\frac{m\delta}{K}$ e de α sugeriu-nos uma relação simples entre o transporte de material sólido no litoral e a energia dissipada pelas correntes longitudinais.

SUMMARY

When Waves break on a beach, a small part of the energy which advances towards the shore goes back to the sea due to the return flow; another part is dissipated by breaking (turbulence), while a third part is dissipated by bottom friction.

In the case of waves breaking at an angle with the shore, momentum considerations enabled us, in the case of a spilling breaking on beaches having a gentle slope, to compute the way in which the energy transmitted by waves is distributed in the three mentioned processes: return flow, breaking (turbulence) and friction.

It is shown that the dimensionless rates of energy dissipation by the longshore current and by breaking (s and t) depend on the crests obliquity (α) and the dimensionless parameter $\frac{m\delta}{K}$, where m is the beach slope, δ the wave steepness and K the friction factor.

The pattern of the curves of s versus $\frac{m\delta}{K}$ with constant α enabled us to sugges a simple relation between the rate of littoral transport and the rate of energy dissipated by the longshore current.

COOPERAÇÃO INTERNACIONAL NO DOMÍNIO DA DOCUMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Procurando desenvolver-se a colaboração intercional no campo da documentação rodoviária, a OCDE — Organisation de Cooperation et Developement Economique — assegurou a colaboração do engenheiro belga Marcel van Dijk, especialista em questões de organização e gestão que, após contactos com os principais organismos europeus interessados em assuntos rodoviários, chegou, entre outras, às seguintes conclusões:

1) O meio mais eficaz de divulgar os conhecimentos científicos, quer quanto a rapidez, quer quanto a economia, consiste na elaboração de («abstracts»), os quais deverão ser publicados em língua de larga difusão.

2) Dada a dificuldade de conseguir uma centralização total, para publicação, de todos os resumos, entende-se que a solução mais eficiente consiste em repartir tal tarefa pelas revistas já existentes e que oferecem garantias de continuidade (Road Abstracts, Dokumentation Strasse, e revista do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

3) Os organismos coordenadores de cada País (de Portugal, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil) enviariam ao editor de uma daquelas revistas os resumos dos artigos publicados nas revistas da própria língua.

4) Cada uma das revistas de «abstracts» teria duas secções. Na primeira seriam publicados os resumos dos artigos aparecidos nas revistas da respectiva língua e nas revistas dos países que lhes enviariam os seus resumos. Na segunda secção seriam publicadas as traduções, para a língua dessa revista de «abstracts», de uma escolha dos resumos aparecidos nas primeiras secções das outras duas.

5) Cada resumo deverá ser elaborado de acordo com o «Code du Bon Usage sur Matière de Publications Scientifiques», de que se junta tradução, que seria interessante divulgar nas revistas técnicas nacionais para conhecimento dos autores de artigos.

6) Devendo os resumos ser enviados à revista de «abstracts» redigidos na língua desta (no caso de Portugal, deu-se preferência ao inglês), é de toda a conveniência que as revistas técnicas publiquem resumos na própria língua e naquela em que é editada a revista de «abstracts» (no nosso caso, portanto, em português e inglês).

MÉTODOS, MOVIMENTOS E TEMPOS DE TRABALHO

Editado pelo INII e elaborado pelo seu Serviço de Produtividade, acaba de ser publicado o n.º 1 da série «Técnicas de Produtividade» dedicado ao tema «Métodos, Movimentos e Tempos de Trabalho», o qual inclui a metodologia de base e as técnicas mais significativas da Organização do Trabalho.

SIEMENS
PORTUGAL
MOTORES
MOTRA
SABUGO - PORTUGAL
FABRICADOS SOB LICENÇA DE
SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG
BERLIN-ERLANGEN
DISTRIBUIDORES
SIEMENS COMPANHIA DE ELECTRICIDADE, SARL.
LISBOA • PORTO

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52093–52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS, DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

FLUIDO E MASTIC

IMPERMEABILIZAÇÕES

TORNA TUDO ESTANQUE

Impermeabilização e vedação perfeita de:

Terraços, Empenas, Algerozes, Clarabóias, Paredes húmidas, Coberturas, Fendas, Juntas de dilatação, etc., etc.

Fácil aplicação — Elasticidade excepcional
Não endurece nem apodrece

ROOFATEX **À base de borracha + alumínio**

Reforça a acção impermeabilizante do «Rubio», dando às construções um aspecto agradável — Protege todos os materiais contra a humidade, a ferrugem e a corrosão

RUBIO E ROOFATEX dois produtos que se completam

Representante exclusivo: Orlando Fernandes

Rua Palmira, 46-A-B-C — LISBOA-1 — Telefs. 83 01 63 - 84 26 39 — End. teleg. «ORFER»

C. D. U. 669.186.3

CONTRIBUIÇÃO PARA UMA TEORIA DO CUBILOTE

POR JOSÉ JOAQUIM DELGADO DOMINGOS
Assistente do I. S. T. — Eng.º da F. M. B. P.

0. INTRODUÇÃO

0.1 O funcionamento e condução do cubilote, são do conhecimento comum do fundidor, que o opera mercê dum feixe de regras empíricas ou semiempíricas que a tradição ou a experiência pessoal lhe conferiu. Não é nosso propósito ocuparmo-nos destes aspectos aliás suficientemente divulgados através de algumas boas publicações de que é justo destacar as da AFS[1] e as do C. T. I. F. [2], mas sim acentuar alguns aspectos fundamentais a ter em conta numa melhoria das técnicas operatórias ou da própria concepção do forno. Com efeito, se o cubilote é o mais vulgar dos fornos de fusão e se a obtenção de ferro fundido por seu intermédio se compadece das mais grosseiras técnicas de condução, outro tanto não poderemos dizer do seu domínio efectivo em ordem a conseguir metal fundido de características predeterminadas e uniformes, caso em que o conhecimento das leis que regem a fusão é factor fundamental de boa condução.

0.2 No domínio do conhecimento das leis da fusão é enorme o trabalho experimental já realizado e em curso de realização nos centros de investigação especializada, em grande maioria centrado na obtenção de conclusões que directamente interessem ao fundidor. Tem-se, porém, descurado as mais das vezes uma análise científica básica das variáveis que determinam o processo, ou, quando tentada, limita-se aos aspectos mais elementares. Òbviamente, a complexidade dos fenómenos em jogo não permite uma análise exaustiva e detalhada que, traduzida quantitativamente, conduza a resultados de imediato interesse. De igual modo, uma teoria global que permita a predeterminação de todas as características do funcionamento será sempre pràticamente impossível, não só pelo vulto de trabalho necessário como pela falta de conhecimento básico definido, de alguns aspectos fundamentais. Qualquer que seja o desenvolvimento da técnica neste domínio, mesmo espectacular, nunca se poderá prescindir do ensaio directo, nem da experiência adquirida, o que, se é uma característica da técnica moderna em geral, o é em muito maior grau no domínio da metalurgia.

Na impossibilidade duma teoria global e aceite, por outro lado, a inevitável realidade do recurso sistemático à experimentação, é manifesto que, mesmo incompleta ou muito fragmentada, é preferível a existência duma teoria que inspire a experimentação que a sua inexistência. Diremos mesmo que será preferível uma teoria pouco certa à sua total ausência — o facto de existir uma linha de referência é necessàriamente mais útil que um espaço sem coordenadas.

0.3 Não é objectivo da presente comunicação apresentar regras práticas de utilização corrente na fundição. Que nos relevem os fundidores da falta de resultados de imediata aplicação, mas é nosso exclusivo intuito um bosquejo sucinto e possìvelmente fragmentado, dirigido aos técnicos de fundição, mais com a finalidade de reviver certas questões fundamentais e de sugerir as eventuais vias de progresso na tecnologia do forno por aplicação dos conhecimentos básicos de alguns ramos da ciência.

1. CONSIDERAÇÕES TERMODINÂMICAS

1.1 Recordemos que o balanço térmico deriva da aplicação do primeiro princípio de termodinâmica, considerando o forno em regime estacionário e desprezando as trocas de trabalho do sistema com o exterior.

O estabelecimento do balanço térmico é formalmente muito simples, mas a determinação efectiva de todos os factores é, por vezes, bastante difícil, se não pràticamente impossível, se

* Trabalho apresentado ao I Colóquio Nacional de Metalurgia organizado pelo I. N. I. I.

e exige uma margem de erro de apenas alguns por cento.

Não nos alongaremos na discussão dos factores do B. T. mas acentuemos que, devidamente estabelecidos, resultam dele conclusões intrìnsecamente válidas, pois derivam dum princípio universal.

1.2 Àparte considerações de rendimento térmico, podem tirar-se, do primeiro princípio, algumas conclusões fundamentais relativamente a alguns factores de principal interesse para o fundidor, a saber: produção horária e temperatura do ferro à bica.

Porém, aplicadas globalmente ao forno, as conclusões só podem ter um carácter geral, como se verá.

Considere-se, simplificadamente, que o calor específico médio das cargas metálicas entre a temperatura ambiente e no estado líquido à bica do forno é C. Seja Q a quantidade horária de calor libertada pela combustão do coque e η a fracção daquela quantidade que é utilizada no aquecimento, fusão e sobreaquecimento do metal. Admita-se não haver perdas na carga metálica, que é P a produção horária e ΔT a diferença entre a temperatura ambiente e a do metal à bica.

Entre aquelas quantidades existe a relação

$$P.\Delta T = \frac{Q\eta}{C} \tag{1}$$

Donde, mesmos supostos conhecidos Q, η e C apenas ficamos sabendo o valor do produto $P.\Delta T$ mas não os seus valores individuais como se pretendia.

1.2.1 O resultado anterior é uma consequência inevitável de tratar o forno globalmente sem descer a uma análise dos proessos que se verificam no seu interior, que permita estabelecer equações em número igual ao das incógnitas a determinar.

Até hoje, aplicada ao cubilote, aquela análise não se fez, procurando-se determinar experimentalmente a relação P, ΔT duma forma global, ou fazendo a introdução de variáveis que se pressupõem de melhor correlação experimental.

Do primeiro tipo são exemplo os trabalhos de Jungbluth e Korchan, indiscutìvelmente dos de maior interesse para a condução do cubilote. Recorde-se que estes autores, adoptando a temperatura do ferro como ordenada e a produção horária como abcissa, traçaram, experimentalmente, duas famílias de curvas, tendo como parâmetros a percentagem de coque entre cargas e a quantidade de vento insuflado por minuto. A intersecção de uma curva de cada família determina um ponto, o qual representa o funcionamento para uma dada quantidade de ar e uma percentagem de coque entre cargas. As coordenadas deste ponto dão òbviamente P e ΔT.

Do segundo tipo são exemplo as fórmulas de Buzek e de Jungbluth para a determinação da produção horária. Estas últimas merecem um comentário à sua dedução por as suas aplicações poderem originar conclusões erróneas quando não tidos em conta os estreitos limites em que é válida a sua dedução.

1.3 Segundo Buzek, seja M o peso em kg de carbono para fundir 100 kg. de gusa. Seja D o débito de vento em Nm^3/h insuflado no cubilote para efectuar a combustão do coque e seja X o volume de ar para queimar 1 kg de carbono.

A produção horária em toneladas por hora será

$$P = \frac{D}{10\,M\,X} \tag{2}$$

que é fórmula de Buzek, a qual sugere uma proporcionalidade directa entre a produção horária e o débito de vento.

Considerando agora que o débito de vento deve ser proporcional à secção recta do forno será, se for d o seu diâmetro

$$D = K^1\,d^2 \tag{3}$$

donde por combinação de (2) e (3) e fazendo

$$K = \frac{K^1}{10\,M\,X} \tag{4}$$

Resulta

$$P = Kd^2 \tag{5}$$

Fórmula universalmente conhecida para a determinação da produção horária do cubilote, dando a K um valor constante geralmente igual a 6.

Como se verifica, são simplistas as considerações que conduzem a (5), a qual, contudo, pelo mérito da sua simplicidade, é largamente utilizada.

Como por (4) se verifica, K não é constante, e esconde na definição de M, a dificuldade fundamental já citada a respeito de (1) — engloba

ΔT, introduzindo, além disso, X, que depende de percentagem de CO e CO^2 nos produtos de combustão.

Em ordem de resolver esta última dificuldade Jungbluth introduz a variável η_v índice de combustão, que se pode definir como

$$\eta_v = \frac{CO_2}{CO_2 + CO} \tag{6}$$

Considerando agora que a combustão de 1 kg de carbono segundo CO_2 consome 8,9 Nm^3 de ar, e segundo CO 4,45, o volume de ar necessário à combustão de 1 kg de carbono, exprime-se em função de η_v por

$$X^1 = 4{,}45\ (1 + \eta_v) \tag{7}$$

e se for C^1 a percentagem de carbono do coque

$$X = 4{,}45\ C^1\ (1 + \eta_v) \tag{8}$$

Substituindo (8) em (2) obtém-se a fórmula de Jungbluth

$$P = \frac{D}{4{,}45\ C^1\ (1 + \eta_v)\ M} \tag{9}$$

Um simples comentário permite indicar a origem duma conclusão absurda, se não têm em conta os limites estreitos de validade da fórmula. Com efeito, P é inversamente proporcional a C^1 e portanto quanto menor C^1 maior será P, isto é, quanto menor a percentagem de carbono do coque, em igualdade dos outros factores, maior a produção horária!!

A conclusão errónea resulta de se não incluirem de forma explícita as condições que impõe o 1.º princípio da termodinâmica, e de se entrar apenas em consideração com uma segunda realidade a ter em conta no cubilote: — as cargas descem independentemente de se encontrarem ou não fundidas, pelo simples facto de se dar a combustão do coque. Deste modo, quanto maior a quantidade de coque consumida para uma dada quantidade de vento, maior a produção horária que é o facto que essencialmente, exprime qualquer das fórmulas clássicas anteriores e que explica também porque diminuindo a percentagem de CO_2 (e portanto a quantidade de calor libertada) P aumenta. Òbviamente as fórmulas anteriores só são válidas enquanto a combustão do coque assegurar a libertação duma quantidade de calor suficiente para assegurar a fusão das cargas metálicas. Mais precisamente, diremos que apenas são válidas em torno de posições estáveis do funcionamento do forno.

«Aumentando a produção horária com a diminuição do calor libertado» necessàriamente a temperatura do ferro desce havendo, portanto, uma altura em que o forno deixa de funcionar por a quantidade de calor libertada não ser suficiente para assegurar a fusão das cargas.

Como já se indicou as fórmulas anteriores são universalmente aplicadas quando se considera a produção horária; mostrou-se, porém, que são apenas válidas em torno dum ponto de funcionamento estável do forno. Um funcionamento estável só pode conseguir-se se o calor transmitido às cargas metálicas for suficiente para as fundir, donde se conclui que, por conjugação deste princípio com o de descida das cargas pelo consumo do coque, se podem delimitar as zonas de possível funcionamento do forno.

A discussão deste ponto deriva directamente do primeiro princípio de termodinâmica, mas não o faremos aqui, por já o termos considerado em trabalho anterior, assim como as conclusões práticas que dele derivam [4].

1.4 Já se recordou, sumàriamente, o tipo de representação gráfica adoptado por Jungbluth e Korchan para os seus trabalhos experimentais.

Estes trabalhos são os únicos a nosso conhecimento que põem em evidência a ligação entre P e ΔT, e os permitem determinar em função das variáveis que o fundidor controla — percentagem de coque entre cargas e débito de vento.

Infelizmente, os resultados só são quantitativamente válidos para o forno em que foram estabelecidos e para as condições bem determinadas em que as experiências foram conduzidas particularmente no que se refere ao coque e às cargas metálicas.

Além disso a sua aplicação pressupõe um cubilote cujo funcionamento está perfeitamente estabilizado, o que só pode acontecer depois dum tempo considerável de funcionamento.

As restrições anteriores nem sempre se têm devidamente em conta e algumas das melhores publicações do cubilote [1] apresentam, exclusivamente, extrapolações dos resultados originais de Jungbluth e Korchan apoiados no critério

simples de que as perdas são proporcionais à área lateral do forno e a libertação de calor proporcional ao volume, o que levou à conclusão de que as diferenças de temperatura do ferro à bica em °F para os resultados de Jungbluth e Korchan se exprimem pelo mesmo número que a diferença em polegadas dos diâmetros respectivos dos dois fornos!

Evidentemente, a conclusão só pode ter carácter eminentemente prático.

Muito embora a conclusão não possa ter aquele carácter preciso, a representação gráfica obtida tem um interesse enorme por exprimir o andamento das curvas, as quais, permitindo conclusões gerais válidas podem ser um auxiliar precioso na afinação do cubilote [3].

1.5 Qualquer dos trabalhos anteriormente citados, dos mais representativos para a utilização do cubilote, apenas é válido com o forno estabilizado, e os seus valores quantitativos sòmente nas condições particulares em que foram determinados.

O seu interesse prático é manifesto, dada a sua simplicidade, mas esta apenas é conseguida à custa da ignorância de certos factores fundamentais.

Assim, e como já se acentuou, apenas são válidos para um funcionamento estacionário e, pouco ou nada permitem concluir quanto à influência das características do coque e das cargas metálicas. De igual modo não permitem apreciar o comportamento do forno em regime de transição, quando o funcionamento não é estável, nem indicam quais os factores que determinam aquela estabilidade.

1.5.1 O problema da determinação dos factores que condicionam a estabilidade pode ser abordado genèricamente nas linhas já apontadas [4]. Òbviamente o estudo experimental dos regimes da transição não é fácil e só modernamente se tentou, sendo de destacar os trabalhos de Patterson, Siepman e Pacyna [5] para o cubilote de vento frio, que recorrem à determinação de balanços térmicos sucessivos, como meio de apreciar a evolução com o tempo dos vários factores determinantes do funcionamento.

Deve acentuar-se que a consideração do B.T. em regime transiente obriga a considerar, não só as trocas energéticas do forno com o meio exterior, mas ainda as variações de «energia interna do forno», reduzida, pelos autores citados, às variações da altura da cama de coque. Este parâmetro, que é essencial na discussão da estabilidade de marcha é por estes trabalhos posto experimentalmente em evidência

A consideração do regime transiente estudada pela determinação de B.T. sucessivos é um progresso no estudo do funcionamento global do forno e que resulta directamente dos trabalhos já efectuados considerando o B.T. em regime estacionário. As conclusões que dele resultam têm um carácter geral, mas do maior interesse na condução do forno.

2. ESBOÇO DUMA TEORIA CINÉTICA DO CUBILOTE

2.0 A exposição anterior dá um panorama sucinto dos trabalhos salientes na estruturação duma teoria do cubilote. Quase todos o tratam globalmente, resultando as considerações referentes à estabilidade de princípios gerais.

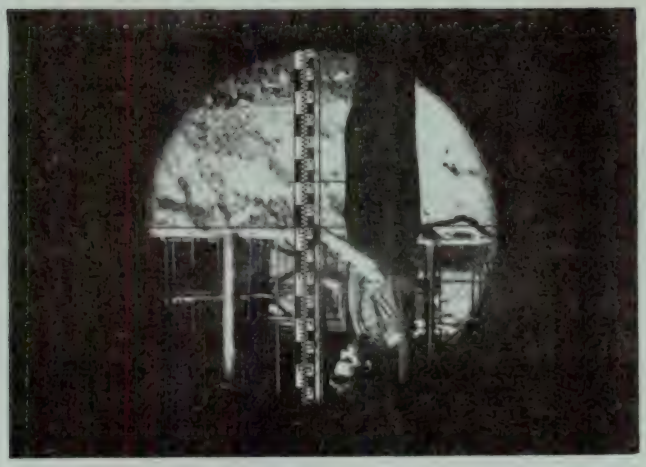
O estudo da estabilidade é um ponto capital no estudo cubilote — só com um forno em funcionamento estável pode haver constância de qualidade e pode haver a previsão de causa-efeito, que permita ao fundidor a obtenção dum produto com uma dispersão mínima de características.

Um funcionamento estável traduz-se primàriamente, por uma constância de P e ΔT. Pràticamente e durante o funcionamento significa que não há oscilações sensíveis no nível da cama de coque.

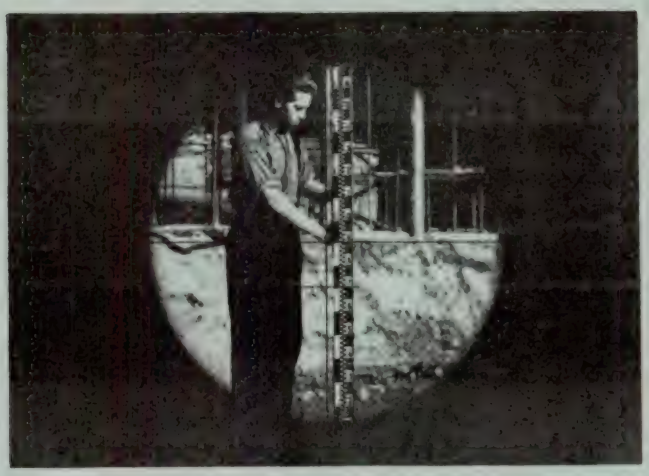
Como já se indicou sumàriamente, os trabalhos até agora realizados não conseguem a determinação analítica (mesmo não quantitativa) de P e ΔT. Por outro lado, para o estudo metalúrgico do forno interessa, não só o conhecimento de P e ∇T, como também a distribuição espacial de composição dos gases. Uns como outros obrigam a considerar um modelo cinético para o forno contra a consideração dum modelo estático como tem sido feito até agora. Isto é, o segundo passo na estruturação duma teoria do cubilote consistirá no estudo analítico dos fenómenos cinéticos que se processam no interior do forno, admitindo para tanto, e numa primeira fase, que os fenómenos são estacionários.

Aquele estudo cinético exige a prévia adopção dum modelo físico, necessàriamente simplificado,

ANTIGAMENTE :

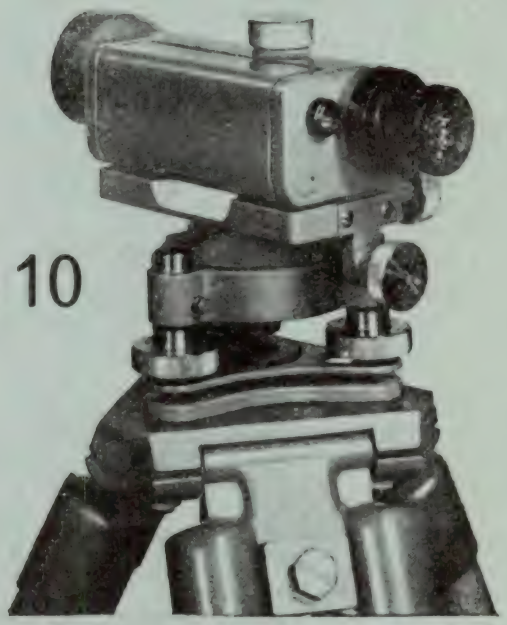


HOJE :



Com
imagem
direita
na luneta

WILD
HEERBRUGG



N 10

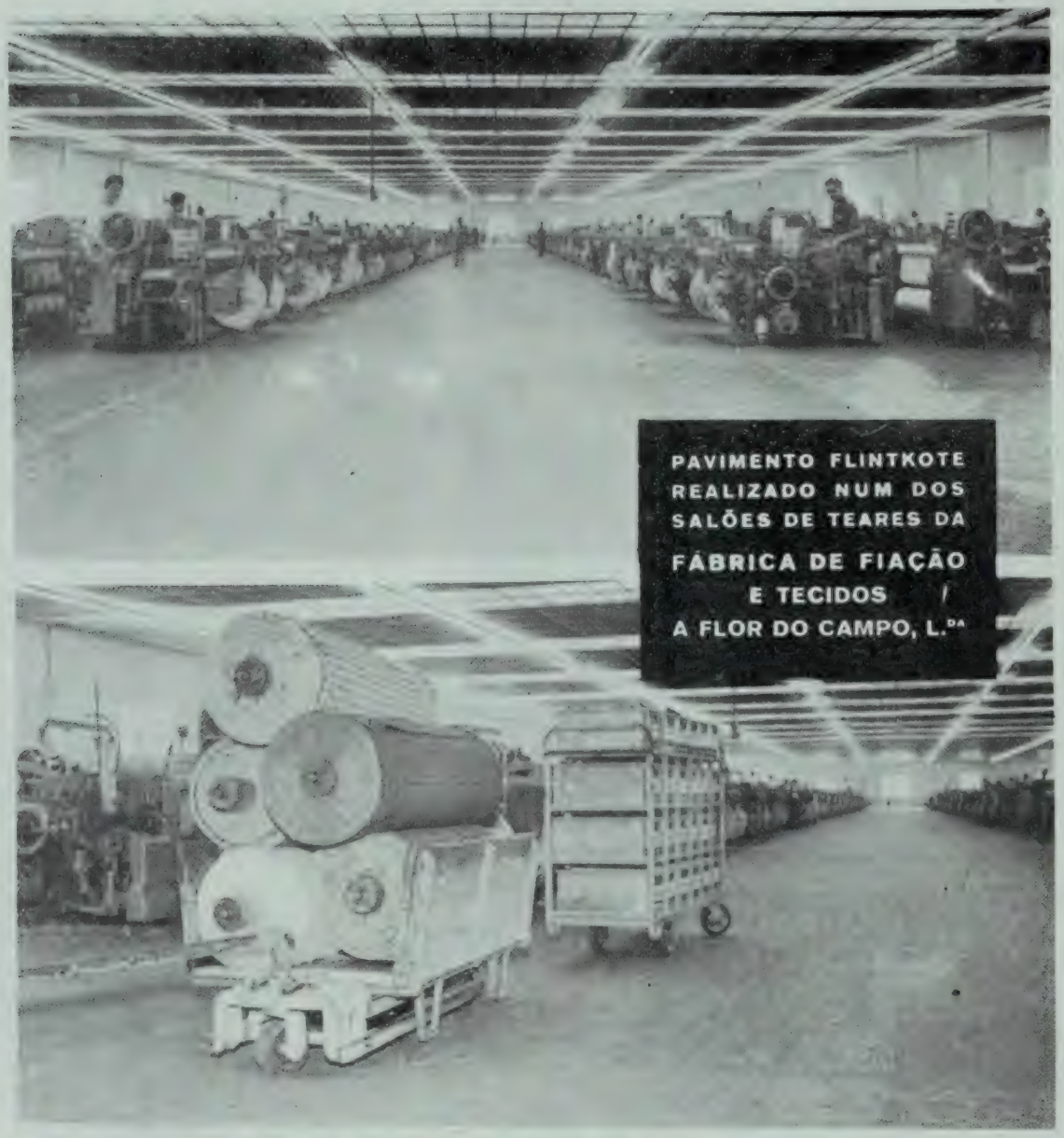
Trabalho cómodo e simples sem erros e sem dúvidas, sinais correctos, não invertidos, claros e rápidos.

O pequeno nível WILD N 10 com a designação «E» tem imagem direita do campo de observação na luneta. A mesma tem luminosidade igual ao modelo convencional e o mesmo tamanho.

Representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA-2 — TELEFONE 68 11 27



pavimentos

FLINTKOTE

SHELL

RESISTENTES À ABRASÃO, CHOQUE E TRÁNSITO PESADO. NÃO FISSURAM, NÃO PRODUZEM POEIRAS. IMPERMEÁVEIS, INCOMBUSTÍVEIS E INSONOROS, ANTIDERRAPANTES, HIGIÉNICOS E DE MANUTENÇÃO FÁCIL E ECONÓMICA.

SHELL PORTUGUESA, S. A. R. L. AV. DA LIBERDADE, 249 - TEL. 73 69 45 - LISBOA
RUA SÁ DA BANDEIRA, 706-1.º - TEL. 2 04 31 - PORTO

devendo englobar, inicialmente, os fenómenos fundamentais do processo — a combustão do coque e a permuta de calor gás-sólido. A solução deste problema permitirá conhecer a distribuição de temperaturas e a composição espacial da fase gasosa sobre as quais se poderà, em seguida estruturar o estudo metalúrgico do forno: ficará também solucionado o problema da determinação de P e de ΔT.

De notar que o estudo analítico introduzirá, necessàriamente, novas variáveis cuja determinação só poderá ser feita por via experimental. Porém, as novas variáveis e as leis experimentais para elas encontradas são òbviamente susceptíveis de sistemática aplicação à generalidades dos fornos de cuba por se referirem a fenómenos mais individualizados que as que consideram globalmente o forno, e das quais já foram citados exemplos.

2.1 A determinação da distribuição de temperaturas no interior do forno obriga ao conhecimento prévio das taxas de libertação (ou absorção) de calor por reacção química no interior do forno, e de que o mais importante é a combustão do coque. Por outro lado a velocidade das reações é estrictamente determinada pela temperatura, o que obrigará, em primeira análise, à escrita e solução simultânea das equações que regem os dois fenómenos.

Esta solução simultânea é complexa e não se consegue completa por via puramente analítica. Por isso se faz o estudo do forno em três zonas de características distintas quanto à cinética das reacções. Na primeira zona, onde se verifica a combustão do coque e as mais elevadas temperaturas, a velocidade de reacção é pràticamente condicionada pelas velocidades de transporte dos gases reagentes. Na segunda zona, os fenómenos de transporte e de cinética química têm influências análogas. Na terceira, de mais baixa temperatura, os factores de cinética química são preponderantes.

A delimitação das três zonas não é rigorosa mas está de acordo com a precisão geral com que se conhecem os vários coeficientes necessários ao cálculo.

Sendo, na primeira zona, essencialmente determinantes os fenómenos de transporte e, uma vez que a sua dependência da temperatura é restrita, não é necessário, em primeira aproximação, resolver simultâneamente as equações da transmissão de calor e da composição da fase gasosa, passando, deste modo, as segundas a ser um dado a incluir na solução das primeiras.

Esta primeira zona, que se pode considerar como válida quando a temperatura é superior a 1000° C, engloba aproximadamente, no cubilote, os fenómenos que se passam entre o nível das tubeiras e a zona de fusão. Sendo, deste modo, a de estudo mais simples é, também a mais importante — chamar-lhe-emos «zona de combustão».

2.2 A dedução analítica da composição da fase gase e a demonstração da concordância dos resultados como uma série de valores experimentais já foi por nós considerada na hipótese da combustão de carbono em leito fixo em regime estacionário [6].

Nele se demonstrou que o fenómeno pode ser estudado introduzindo uma variável genérica *b* adimensional, tal que

$$b = \frac{m_e - m_{es}}{m_{es} - m_{et}} \tag{10}$$

sendo m uma propriedade associada à massa e tal que satisfaz à seguinte equação às derivadas parciais:

$$\text{div}\,(\text{grad}\, m_e) - \text{div}\,(G\, m_e) = o$$

e a certas condições sobre a interfase gás-sólido.

G é o caudal mássico, m_e toma o valor m_{es} sobre a interfase gás-sólido, sendo m_{et} a fracção de m_e que é transferida quando a unidade de massa passa da fase sólida à fase gasosa. Esta massa m transferida por unidade de tempo é proporcional a b e m_{es} é constante por hipótese. Admite-se além disso que os coeficientes de transporte são constantes assim como a densidade média da fase gasosa. A variavél b é adimensional e mostra-se que pode ser considerada como função da geometria do fluxo gasoso ficando a sua expressão analítica dependente da determinação de dois factores experimentais, α e β os quais são função da granulometria da cama e das característiças do escoamento.

Considerando o eixo dos xx coincidente com a linha média do fluxo gasoso (aproximadamente o eixo do forno alguns centímetros acima do plano das tubeiras) b tem a forma genérica

$$\frac{1 + b_2}{1 + b_1} \cdot \frac{b_1}{b_2} = (\alpha x + 1)\beta$$

sendo $b = b_1$ para $x = 0$
$b = b_2$ para $x = x$

Identificando m_e com uma combinação da fracção em massa do oxigénio e do carbono na fase gasosa, obtem-se, posteriormente, a composição média da fase gasosa (CO, CO_2 O_2) mediante o conhecimento de um dos componentes. Como a percentagem de O_2 é desprezável a uma distância de 2 ou 3 diâmetros do pedaço médio de coque, a partir desse ponto o conhecimento de b dá CO e CO_2 (que, como se sabe, não coincidem com os valores de equilíbrio à mesma temperatura).

Embora não completamente deduzida a composição da fase gasosa, o trabalho citado torna possível, segundo julgamos, vir a permiti-la, bastando para tanto um número suficiente de ensaios que estabeleça a lei a que obedecem os coeficientes necessários, e que já se encontrou nas suas linhas gerais. Aliás o problema simplifica-se considerando a analogia de Reynolds para a transferência de massa o que permite utilizar as leis estabelecidas experimentalmente para a transmissão de calor ou para a perda de carga em leito fixo — os resultados podem aplicar-se directamente mediante a margem de erro inerente à analogia e à sua extensão a este caso, e constituem uma primeira aproximação.

2.3 O principal interesse na introdução da variável b consiste, porém, no facto de ser uma variável adimensional cuja lei de variação (à parte o valor duma constante de integração que se determina) não está vinculada a nenhuma propriedade em particular, permitindo assim a determinação da distribuição de temperaturas desde que se admita que o coeficiente de difusão térmica e mássica sejam iguais, o que se verifica pràticamente em escoamento turbulento o qual se dá no caso que estamos tratando.

Sem descer ao pormenor da demonstração basta notar que uma função definida como

$$I = C_p T - \Sigma h_j m_j$$

em que hj é a entalpia de formação do componente j da fase gasosa a partir dos seus elementos à temperatura standard; mj a concentração em massa do componente j; C_p o calor específico a pressão constante, admitido constante; T a temperatura local; obedece às condições a que deve satisfazer m, o que permite definir b anàlogamente a (10), o qual obedecendo às mesmas equações diferenciais terá a lei de variação genérica já apontada.

A discussão detalhada deste aspecto sai fora do âmbito deste trabalho e será objecto de futura publicação, podendo, contudo, encontrar-se em [7] numa introdução ao problema geral da combustão.

2.4 Os trabalhos anteriormente citados podem estender-se às restantes zonas do forno, muito embora o problema origine uma complexidade evidente, não apenas do ponto de vista analítico mas físico-químico, por se não conhecer com a necessária precisão o mecanismo das reacções ou o valor dos parâmetros que o caracterizam.

Do ponto de vista que nos interessa — determinação da distribuição de temperaturas acima da zona de combustão — o problema pode, porém, considerar-se em certa medida secundário se admitirmos que:

a) A variação de temperatura da fase gasosa é apenas determinada pelas trocas de calor com a fase sólida.
b) São de menos interesse as variações da composição da fase gasosa.

As hipóteses anteriores são uma aproxmiação que despreza principalmente os efeitos da reacção

$$CO_2 + C = 2CO$$

que é fortemente endotérmica, contudo, a aproximação é aceitável em face das restantes hipóteses que é necessário fazer, podendo ainda aumentar-se considerando o efeito térmico das reacções como incluído numa capacidade térmica fictícia de fase gasosa, como fez, por exemplo, Kitaiev [8].

Esta forma de proceder permite uma análise simples dos fenómenos que se passam entre a boca de carregamento e a zona de fusão das cargas, análise que será esboçada no ponto seguinte de forma directa, por facilidade de exposição, embora em detrimento da unidade de tratamento que a introdução da variável b consente.

2.5 Considerem-se, por simplicidade, na zona determinada pelo plano de carregamento e pelo plano de início de fusão das cargas metálicas,

duas fases — uma gasosa e outra sólida — movendo-se em contra corrente. Sejam T_g e T_s, respectivamento, as suas temperaturas supostas uniformes sobre um plano perpendicular ao eixo do forno e à distância x do plano de carregamento. Sejam ainda C_g e M_g, C_s e M_s os calores específicos médios e as massas que passam na unidade de tempo e por unidade de secção transversal do forno, respectivamente, da fase gasosa e da fase sólida

Considerando apenas trocas de calor por convexão (caracterizadas por um coeficiente h [1]) e admitindo uma enércia térmica nula [2]) obtem-se a seguinte relação diferencial entre as grandezas enunciadas:

$$(11) \qquad M_s C_s \frac{dT_s}{dx} - C_g M_g \frac{dT_g}{dx} = 0$$

$$(12) \qquad M_g C_g \frac{dT_g}{dx} - h\,(T_g - T_s) = 0$$

Adoptando como temperatura de referência 0 °C, será no plano de carga (x = 0)

$$T_s = 0$$

Chamando por outro lado E à distância a partir do plano de carga onde a temperatura da fase gasosa é Θ, e pondo

$$(13) \qquad AT = T_g - T_s$$

$$(14) \qquad A = M_s C_s$$

$$(15) \qquad B = M_g C_g$$

$$(16) \qquad \left(\frac{1}{A} - \frac{1}{B}\right) h = D$$

Obtêm-se as seguintes soluções para $A \neq B$

$$(17) \qquad T_s = \frac{\Theta}{1 - \frac{A}{B} e^{-DE}} \left[1 - e^{-Dx}\right]$$

$$(18) \qquad T_g - \frac{\Theta}{1 - \frac{A}{B} e^{-DE}} \left[1 - \frac{A}{B} e^{-Dx}\right]$$

$$(19) \qquad AT = \frac{\Theta}{1 - \frac{A}{B} e^{-DE}} \left[1 - \frac{A}{B} e^{-Dx}\right]$$

e para A = B

$$(20) \qquad T_s = \frac{\Theta}{E + \frac{A}{h}} x$$

$$(21) \qquad T_g = \frac{\Theta}{E + \frac{A}{h}} \left[x + \frac{E}{h}\right]$$

$$(22) \qquad \Delta T = \frac{\Theta}{E + \frac{A}{h}} \cdot \frac{E}{h}$$

Como se verifica se:

	$A < B$	$(D > O)$ ΔT decresce exponencialmente com x
(23)	$A > B$	$(D < O)$ ΔT cresce exponencialmente com x
	$A = B$	$(D = O)$ ΔT é independente de x

como se verá, os valores relativos de A e B têm bastante importância.

2.6 Chamando altura de aquecimento à distância L que separa o plano de carregamento do início de fusão das cargas e supondo que a fusão se inicia a uma temperatura T_f, L determina-se de (17 fazendo x = L e $T_s = T_f$.

Obtém-se para $A \neq B$ e atendendo a (16):

$$(24) \qquad L = \frac{1}{h} \frac{AB}{B\text{-}A} \log \left[1 - \frac{T_f}{\Theta} \left(1 - \frac{A}{B} e^{-DE}\right)\right]$$

e para A = B

$$(25) \qquad L = \frac{T_f}{\Theta} \left(E + \frac{A}{h}\right)$$

De (24) e (25) conclui-se que L aumenta com T_f e com a redução de Θ, com os restantes factores constantes, como era evidentemente de esperar.

2.6.1 Podemos considerar, aproximadamente, que Θ é a temperatura máxima dos gases a qual

---

[1]) Note-se que h representa a quantidade de calor permutada por unidade de tempo e por unidade de volume do forno entre fase sólida e gasosa.

[2]) V. [8] para a consideração da inércia térmica e demonstração de que podem nesta zona desprezar-se as trocas de calor por condução e radiação.

se verifica no final da zona de combustão ([3]) a uma altura d a partir do plano das tubeiras. Comparativamente a E e a L, d é pequeno e pode considerar-se sensìvelmente constante. Além disso $E + d = H$ exprime a altura do forno.

Com esta consideração, verifica-se imediatamente que se $L > E$ o funcionamento do forno atinge o limite de estabilidade, porquanto as cargas metálicas apenas iniciarão a sua fusão.

2.6.2 Θ e d são função da granulometria do coque e ainda do débito de vento; em geral Θ e d ([4]) aumentam e, portanto, E desce ligeiramente, mas o valor do aumento de Θ é mais influente que a redução de E, e L diminui. O ferro líquido percorre, deste modo, uma altura maior dentro do forno na zona das temperaturas mais elevadas e sobreaquece saindo finalmente a uma maior temperatura — nestas condições, e, para um coque da mesma qualidade, a produção baixa.

As expressões (24) e (25) põem ainda em evidência o efeito do reaquecimento do ar de combustão o qual originando um aumento de Θ, provoca uma redução de L e, portanto, um aumento da temperatura do ferro.

2.7 Por definição $H = E + d$. Por outro lado, entre o plano de início de fusão e o plano das tubeiras, a distância será:

$$F = H - L = E + d - L$$

Sendo a temperatura de início de fusão fixa para uma dada carga metálica, o metal líquido percorre uma distância F desde que inicia a fusão até atingir o plano das tubeiras.

Como $\Theta > T_f$, para que o forno possa funcionar, durante o percurso $E + L$ sobreaquece. Em seguida, a uma altura D, encontra temperaturas decrescentes dos gases, mas que lhe serão superes durante a maior parte do percurso. Em primeira aproximação, podemos admitir que quanto maior for F maior será o sobreaquecimento. Como d é pràticamente fixo [9] uma variação na altura do forno afectará, essencialmente, a diferença E-L, e podemos, portanto, na apreciação da influência que terá a variação de H no sobreaquecimento substituir E por H em (24) e (25).

Para que o sobreaquecimento aumente é necessário que F aumente com H, ou seja $\frac{dF}{dH} > 0$

Mas

$$\frac{dF}{dH} = \frac{\partial F}{\partial H} - \frac{\partial L}{\partial H} = 1 - \frac{\partial L}{\partial H}$$

e pondo $E = H$ vem de (24)

$$(26) \quad \frac{df}{dH} = 1 + \frac{\frac{T_f}{\Theta} \cdot \frac{A}{B} e^{-DH}}{1 - \frac{T_f}{\Theta}\left(1 - \frac{A}{B} e^{-DH}\right)}$$

válido para $A \neq B$

e de (25)

$$(27) \quad \frac{d_f}{dH} = 1 - \frac{T_f}{\Theta}$$

válido para $A = B$.

Como $T_f < \Theta$ para que possa haver fusão, conclui-se imediatamente de (27) que quando $A = B$ é $\frac{dF}{dH} > 0$ independentemente de H.

De (24) concluimos que sendo necessàriamente $L > 0$ deverá ser

(28) se $A < B$ e $D > 0$ é

$$0 < 1 - \frac{T_f}{\Theta}\left(1 - \frac{A}{B} e^{-DH}\right) < 1 \text{ e se}$$

$$A > B \text{ é } D < 0 \quad 1 - \frac{T_f}{\Theta}\left(1 - \frac{A}{B} e^{-DH}\right) > 1$$

e portanto concluimos de (20) que é sempre $\frac{dF}{dH} > 0$.

2.8 O facto de ser $\frac{dF}{dH} > 0$ significa que há sempre, dentro das hipóteses feitas, um aumento de temperatura do ferro quando se aumenta a altura da forno — a conclusão era aliás de esperar, atendendo a que o rendimento térmico do forno aumenta por se reduzirem as perdas na chaminé, devido ao abaixamento de temperatura dos gases à saída por se ter aumentado a altura de recuperação.

As conclusões mais importantes referem-se,

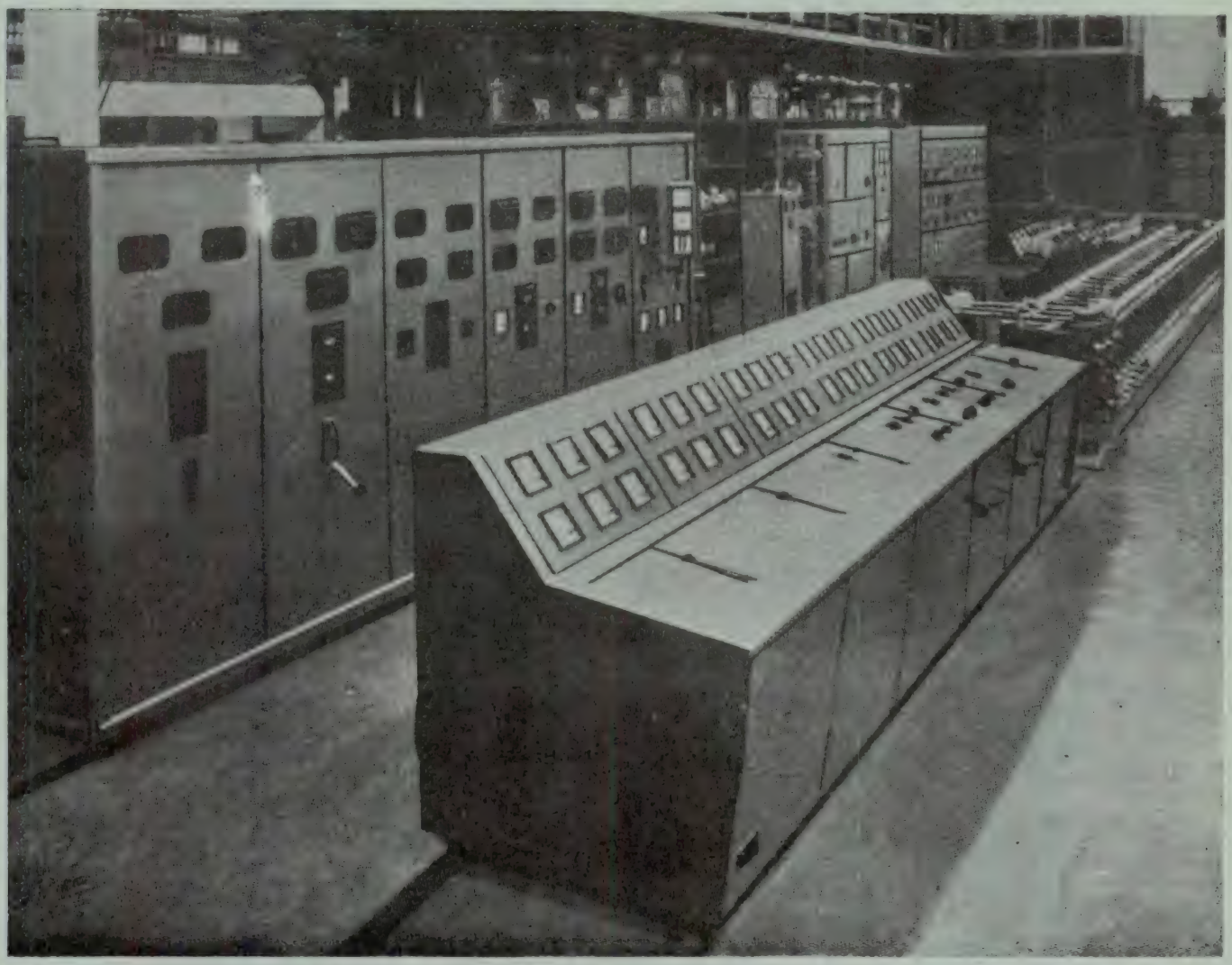
([3]) As expressões obtidas não serão aliàs válidas se Θ se considera no ramo crescente de temperaturas a partir do plano das tubeiras. No caso presente identificámo-lo com o máximo desta curva o qual coincide a menos ~ 3 diâmetros do coque com o ponto de máximo CO_2.

([4]) d é pràticamente independente do débito de vento [9]

JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO	LISBOA	LUANDA
Praça da Batalha, 12	Rua dos Correeiros, 14	Cx. Postal 5174
Telef. 2 28 12 (PPC)	Telef. 32 70 35 (PPC)	Telef. 4743

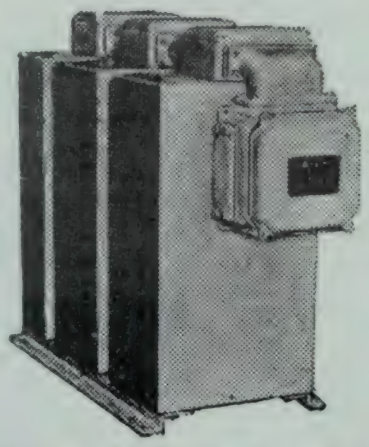


Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

CONDENSADORES **ASEA**

PARA MELHORAMENTO DO FACTOR DE POTÊNCIA



Bateria de condensadores tipo CLB, 32 kVAr

SE PAGA POR CONSUMO DE ENERGIA REACTIVA...

SE A SUA INSTALAÇÃO ELÉCTRICA ESTÁ SOBRECARREGADA...

...consulte:

ASEA ELÉCTRICA L.DA

SEDE EM LISBOA
R. DE ARTILHARIA UM, 104,4.º-D.º
Telefone P.P.C. — 68 90 17/8/9

END. TELEG.
ASEAPORT

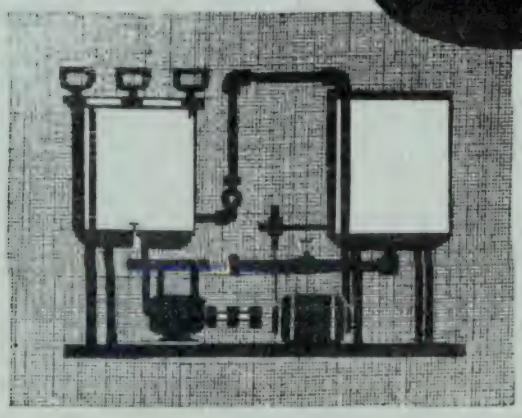
FILIAL NO PORTO
R. DO CAMPO ALEGRE, 144
Telefone P.P.C. — 6 21 06/7

filtros FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açucar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria química

FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO



Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

De[illegible]s de instalações a funcionar no país [illegible] a sua excelente qualidade.

F[illegible] [illegible]IPE DE SOUSA, 128
[illegible]A RAINHA

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

contudo, ao valor daquela melhoria, isto é, à taxa de crescimento de F com H. Òbviamente, quanto maior $\frac{dF}{dH}$ mais substancial o aumento de temperatura do ferro com aumento de temperatura do forno.

Retomando (26) verifica-se que o numerador da fracção é superior ao denominador numa quantidade

$$\frac{T_f}{\Theta} - 1 > 0$$

e portanto

$$\frac{\frac{T_f}{\Theta}\,\frac{A}{B}\,e^{-DH}}{1 - \frac{T_f}{\Theta}\left(1 - \frac{A}{B}\,e^{-DH}\right)} > 1$$

se $A < B$, como $D > 0$, um aumento de H corresponde a subtrair uma mesma quantidade ao numerador e ao denominador da fracção e, como esta é superior à unidade, a fracção, e portanto $\frac{dF}{dH}$, crescem com H.

Se $A > B$ é $D > 0$ e um aumento de H corresponde à soma duma quantidade igual ao numerador e ao denominador — a fracção, e deste modo $\frac{dF}{dH}$, decrescem com H.

No caso limite de ser $A = B$ já verificámos (27) que $\frac{dF}{dH}$ é constante.

O facto de o caso $A = B$ corresponder ao caso intermédio permite uma discussão qualitiva muito simples dado o carácter linear de (25) e (27). Portanto, em relação ao caso $A = B$, o ser $A < B$ corresponde a um aumento progressivo da temperatura do ferro com o aumento da altura do forno; o ser $A > B$ corresponde a uma progressiva diminuição. As mesmas considerações se podem fazer relativamente à influência dos vários factores na extensão da zona de aquecimento para um valor fixo da altura do forno.

2.9 Retomando (27) verifica-se que tem uma influência preponderante, na melhoria que se consegue na temperatura do ferro aumentando a altura do forno, o termo $\frac{T_f}{\Theta}$. Com efeito, quanto menor esta fracção maior o efeito duma variação da altura do forno na temperatura do ferro fundido. Por (25) se vê que uma redução de $\frac{T_f}{\Theta}$ conduz a uma redução da zona de aquecimento; e por (27), que quanto menor $\frac{T_f}{\Theta}$ mais se ganha aumentando a altura do forno. Òbviamente o efeito acentua-se, ou perde importância, consoante $A < B$ ou $A > B$, respectivamente.

O efeito da altura do forno torna-se assim dependente das características de carga — quanto mais elevada a temperatura de fusão menor a influência da altura do forno. Quanto maior a temperatura máxima dos gases da combustão mais importante aquela altura. No referente a esta conclusão acentue-se que será num cubilote com reaquecimento de ar que se conseguirão os melhores resultados aumentando a altura do forno, principalmente nos que usam um recuperador do tipo Ulmer (C.T.I.F.).

2.10 Acentuado a importância da relação entre A e B, determinemos a sua expressão. Para tal, admitamos:

a) Que a densidade dos gases é sensìvelmente constante.
b) Que a fase sólida é apenas constituída por coque e cargas metálicas.
c) Que a relação entre o peso de coque e das cargas metálicas é m.
d) Que não há reacções químicas.

O volume de ar, nas condições normais, para queimar 1 kg de coque é como já se viu (8).

$$x = 4{,}45\ C^1\ (1 + \eta_v)\ Nm^3 \tag{29}$$

Admitindo uma densidade média da fase gasosa de 1,3 e se for Q o debito de vento por m^2 de secção recta do forno em Nm^3/seg, será

$$M_g = 1{,}3\ Q\ kg/seg\ m^2 \tag{30}$$

Por outro lado, igualando o caudal mássico de coque ao consumido por combustão, teremos que a massa de coque consumida por segundo será

$$M'_s = \frac{Q}{x} = \frac{Q}{4{,}45\ C^1\ (1 + \eta_v)} \tag{31}$$

Se admitimos que todo o coque se consome na zona de combustão, o caudal mássico de

coque até ao início desta zona será M'_s. Anàlogamente, o caudal mássico das cargas metálicas será

$$M''_s = \frac{M'_s}{m} \quad \text{e portanto} \tag{32}$$

$$M_s = M'_s + M''_s \tag{33}$$

e por (31) e (33).

$$M_s = \frac{Q}{4{,}45\, C^1 (1 + \eta_v)} \left(1 + \frac{1}{m}\right) \tag{34}$$

Como ordem de grandeza admitamos um calor específico médio a pressão constante de 250 cal/kg para a fase gasosa de 166 cal/kg para as cargas metálicas e de 430 cal/kg para o coque. Teremos:

$$A = M_s\, C_s = 430\, M'_s + 166\, M''_s \tag{35}$$

donde

$$A = \frac{Q}{4{,}45\, C^1 (1 + \eta_v)} \left[430 + \frac{166}{m}\right] \text{cal/°C m}^2\text{seg} \tag{36}$$

$$B = 250 \times 1{,}3 \times Q = 325\, Q \text{ cal/°C m}^2\text{seg} \tag{37}$$

donde

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{B} = \frac{1}{Q}\left[\frac{4{,}45\,(1 + \eta_v)\, m}{430\, m + 166} - \frac{1}{325}\right] \tag{38}$$

sendo além disso

$$D = h\left(\frac{1}{A} - \frac{1}{B}\right) = \tag{39}$$

$$= \frac{h}{Q}\left[\frac{4{,}45\,(1 + \eta_v)\, m}{430\, m + 166} - \frac{1}{325}\right]$$

Admitindo para m e η_v valores correntes de operação, verifica-se que é $D \sim \geqslant 0$, o que é um resultado muito importante e que acentua o interesse do aumento da altura do cubilote por o mesmo se situar na zona mais favorável.

As expressões (38) e (39) prestam-se a uma discussão mais detalhada da influência dos vários parâmetros no sobreaquecimento do ferro fundido, em particular da percentagem de coque entre cargas — m — e do índice de combustão — η_v. Não a faremos por resultar directamente do anteriormente exposto e ir alongar a exposição.

Relativamente às expressões anteriores deve acentuar-se, contudo, que o termo $\frac{h}{Q}$ deve ser pràticamente independente de Q, porque pelos resultados que se conhecem da transmissão do calor entre empilhamentos de sólidos e gases, h é sensìvelmente linear em Q, donde o serem todas as conclusões que se extraem da teoria esboçada pràticamente independentes de Q, a não ser pela sua influência em η_v ([5]).

2.10 Das observações anteriores se conclui da vantagem, em geral, dum aumento da altura do forno. A limitação desta altura será, porém, determinada por considerações económicas. Não tendo sido estudada a zona de combustão a discussão detalhada não é possível, podendo, contudo, fazer-se algumas observações. Assim, a um aumento progressivo da altura do forno, corresponde por exemplo:

- Uma extensão das reacções químicas secundárias (endotérmicas) ([6]).
- Exigência duma resistência mecânica superior do coque.
- Um aumento do custo da instalação.
- Uma redução progressiva do aumento de rendimento térmico.
- Um aumento sucessivo do custo de instalação e de exploração.

A determinação da altura óptima, econòmicamente, obriga a ter em conta os factores adversos, por forma a minimizar o custo unitário do metal obtido. A solução encontrada será apenas válida para condições bem definidas de exploração e de carga do forno, podendo, contudo, encontrar-se o melhor valor para as condições normais de operação.

A solução, definidos todos os factores, pode

([5]) A conclusão altera-se considerando a inércia térmica da fase sólida. Com efeito, um aumento do caudal mássico, faz com que a diferença de temperatura entre a superfície e o interior do sólido seja apreciável num maior percurso dentro do forno, resultando por exemplo um aumento da zona de fusão. Pràticamente o problema perde importância porque Q se mantém entre limites relativamente estreitos na operação normal do forno

([6]) Esta extensão passará, em certo momento, a estacionar pois a uma diminuição de temperatura das fases corresponde uma redução das velocidades de reacção.

encontrar-se por tentativas ou analìticamente, usando as técnicas da programação não linear.

Em qualquer caso, é imprescindível a existência duma análise teórica do funcionamento do forno, que mostre a interdependência de todos factores ou, pelo menos, dos de maior interesse.

3 — CONCLUSÕES

3.1 A exposição anterior revela, por um lado, a extensão da ausência de estudo teórico sobre a cubilote e, por outro lado, o interesse dos resultados que aquele estudo permitirá conseguir, não só na exploração corrente dos fornos existentes como sobretudo na concepção de novos fornos e na orientação dos ensaios experimentais.

3.2 Fragmentada e formalmente imperfeita, mais com um intuito de simplicidade na apresentação que de rigor, fez-se a breve citação de algumas das conclusões que se podem extrair da análise do balanço térmico relativamente às expressões correntemente aceites, e tratou-se, sumàriamente e da forma mais simplificada, a parte do forno onde se processa o aquecimento das cargas. Indicou-se a forma de abordar o estudo da combustão, e de fazer o estudo térmico do forno de forma unificada do ponto de vista cinético.

3.3 Apenas se consideraram duas fases, e o modelo físico é necessàriamente rudimentar, muito embora permita, pela sua simplicidade, pôr em evidência, certas características do funcionamento.

3.4 Aflorando o problema do dimensionamento económico da altura do forno, chama-se a atenção para a única forma de poder abordar cientìficamente o assunto.

3.5 Muito embora o estudo anterior não permita, de imediato, conclusões de carácter prático, supõe-se de interesse, especialmente por ser uma primeira contribuição para a incipiente «Teoria do funcionamento do cubilote», com a esperança bem fundada de, pelo cubilote, ver interessados os técnicos insignes da Indústria Nacional.

BIBLIOGRAFIA

[1] — The Cupola and its operation — American Foundrymen's Society.

[2] — Danis — Guide Pratique de Conduite des Cubilots — C. T. I. F. — tradução portuguesa de Delgado Domingos para o INII (a publicar).

[3] — E. Gabel — Fonderie n.º 102.

[4] — Delgado Domingos — Estudo tecnológico e de condução do cubilote. — Relatório interno do INII — NPC Metalurgia.

[5] — 28.º Congresso Internacional de Fundição.

[6] — Delgado Domingos - Combustão do Carbono em leito fixo — «Técnica» n.º 321.

[7] — Spalding — Some Fundamentals of Combustion.

[8] — Kitaiev — Echanges Thermiques dans les Fours à Cuve — Tradução do IRSID.

[9] — F. Danis — Fonderie n.º 119.

SUMÁRIO

A partir do 1.º princípio da Termodinâmica determinam-se os limites de validade de algumas expressões correntemente aceites para a produção horária do cubilote. Fazem-se algumas considerações relativamente aos regimes transientes do forno e mostra-se que o problema não pode ser considerado no modelo estático habitual. Apresentam-se os elementos duma teoria cinética de cubilote, a partir dos quais se discute a influência da altura do forno na temperatura do ferro fundido, e se apontam as condições econòmicamente mais favoráveis para a sua alteração.

SUMMARY

After a critical review of some important research on the cupola operation the author proposes a kinetic model and examines the influence of the cupola height on the temperature of liquid iron, and the domain of its advantageous increase.

SEGUNDO CURSO DE PROMOTORES PARA FORMAÇÃO DE CONTRAMESTRES

No prosseguimento dos planos de formação de dirigentes e quadros técnicos das empresas, levados a efeito pelo Instituto Nacional de Investigação Industrial, desde Outubro de 1960, estão decorrendo com o maior êxito os cursos de Promotores para Formação de Contramestres.

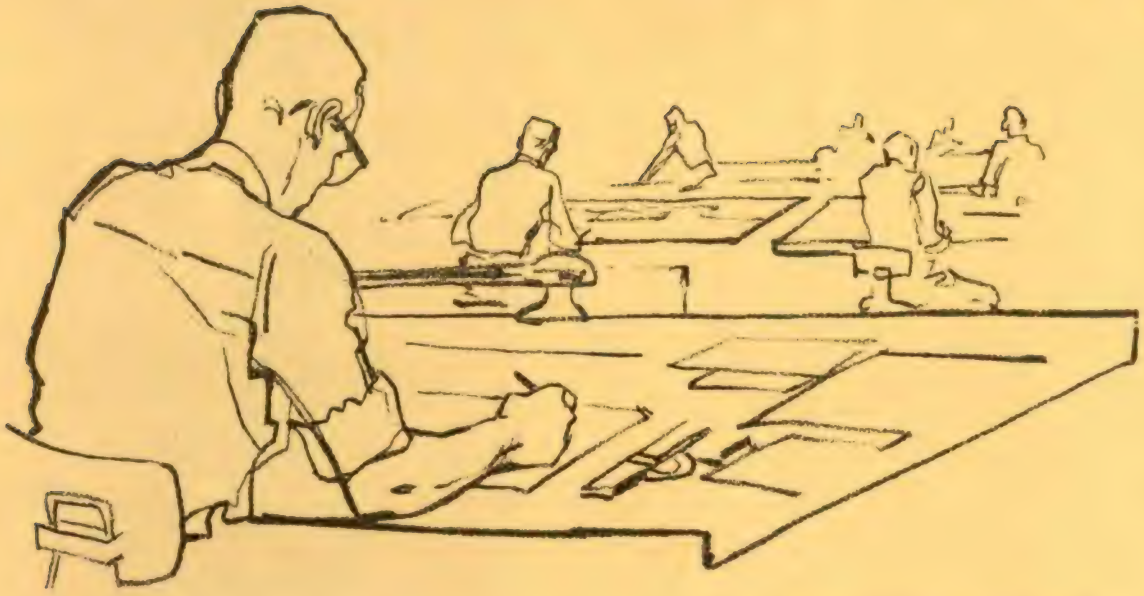
Os referidos cursos, a realizar em Lisboa e Porto, são organizados com o apoio do Bureau International du Travail e a colaboração da Corporação da Indústria e da Direcção-Geral do Ensino Técnico e Profissional, e distribuem-se pelos seguintes programas ou temas: Arte de Instruir, Simplificação do Trabalho, Condução de Reuniões, Relações Humanas, Organização da Produção e Higiene e Segurança.

O primeiro curso começou no mês de Março em Lisboa, tendo nele terminado a sua formação nove promotores e cerca de cento e cinquenta contramestres no programa Arte de Instruir. Nesta acção foram abrangidas não só algumas das grandes empresas nacionais, mas numerosas pequenas e médias empresas dos sectores industriais da construção civil, metalomecânica, borracha, etc. Deve-se, aliás, esta importante extensão à excelente colaboração que o Instituto Nacional de Investigação Industrial obteve da Corporação da Indústria que com o apoio dos Grémios interessados e do Fundo de Desenvolvimento da Mão de Obra se concretizou no envio ao primeiro curso de três técnicos especìficamente recrutados para, como promotores de formação de contramestres, realizarem cursos especiais para as empresas agremiadas.

Com o início deste segundo curso no Norte do País, na Escola Comercial e Industrial de Vila Nova de Gaia, o Instituto Nacional de Investigação Industrial continua, assim, uma acção de grande vulto no campo da formação e aperfeiçoamento dos contramestres nas mais recentes técnicas sobre organização do trabalho e produção, preparação de pessoal e problemas humanos ligados às relações com os operários e chefes.

O curso, em que participam representantes do Arsenal do Alfeite, Cimaf — Centro de Cooperação de Máquinas Ferramentas, Eduardo Ferreirinha & Irmão, Ld.ª, Empresa Carbonífera do Douro, SARL, Empresa Fabril do Norte, SARL, Serviço dos Transportes Colectivos do Porto e ainda da Corporação da Indústria pelo Grémio dos Industriais Metalúrgicos e Metalomecânicos do Norte, principiou pelo primeiro programa — Arte de instruir — que terminará em 16 de Agosto, após quatro semanas especìficamente destinadas à aplicação prática nas empresas interessadas, dos ensinamentos colhidos com a preparação e aperfeiçoamento dos respectivos contramestres.

Estão previstos outros cursos de promotores de formação de contramestres na empresa, para início em Janeiro de 1965, em Lisboa, e no Porto. As empresas e entidades industriais que tiverem interesse em aproveitá-los deverão dirigir-se ao Serviço de Produtividade do Instituto Nacional de Investigação Industrial, Rua de S. Domingos á Lapa, 117-3.º, em Lisboa, ou pelos telefones 67 20 96/7/8.



CATERPILLAR* + S.T.E.T.

O BINÓMIO MAIS VANTAJOSO PARA QUALQUER PROBLEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS

CATERPILLAR* O fabricante mais especializado, em todo o mundo, de tractores de rasto e de rodas, pás mecânicas de rasto e rodas (traxcavators*), motoniveladoras, moto-scrapers, escarificadores, "bulldozers", motores industriais e marítimos, grupos electrogéneos.

S.T.E.T. **SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.**

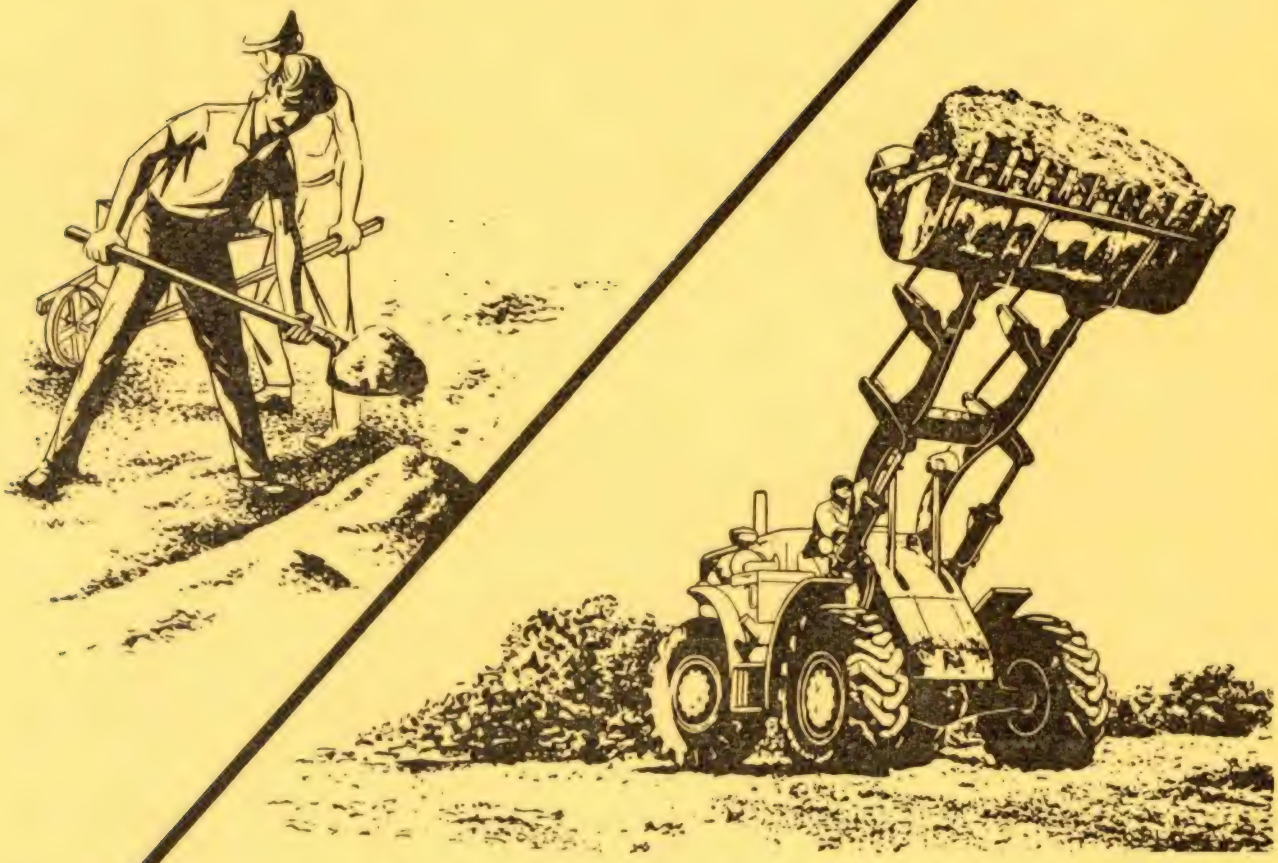
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO EM PORTUGAL CONTINENTAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

ASSISTÊNCIA — REPARAÇÕES — PEÇAS GENUÍNAS

PRIOR VELHO — SACAVÉM TECNICA XXI
TELEF.: 251 0001/4 — TELEG.: «STETRA» — APARTADO 1351
LISBOA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A.

DA PÁ
CLÁSSICA
E DO CARRINHO
DE MÃO...



...À
PÁ MECÂNICA
(TRAXCAVATOR*)
CATERPILLAR*

TODO UM CAMINHO PERCORRIDO NA PROCURA DA MELHOR REALIZAÇÃO DO TRABALHO — DA MANEIRA MAIS EFICIENTE, MAIS ECONÓMICA E MAIS LUCRATIVA — PARA UMA MELHOR SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES HUMANAS.

ACTUALMENTE, EM QUALQUER TRABALHO DE

cerâmicas, minas e pedreiras,

A PALAVRA DA ORDEM É

CATERPILLAR*

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO:

S.T.E.T.

SOCIEDADE TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.
PRIOR VELHO — SACAVÉM
TELEF. 251 0001/4 — TELEG. «STETRA» — APARTADO 1351 — LISBOA

*«CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A

C. D. U. 620.193.013

CORROSÃO CATÓDICA DO CHUMBO [1]

PELOS ALUNOS DE QUÍMICA [2] DO CURSO DE 1963-64 { CARLOS MIGUEL DE ANDRADE PICÔTO
RUI DE MATOS OLIVEIRA SÉRGIO

A «Técnica» é a revista dos alunos do I. S. T., sem contudo serem eles os seus principais colaboradores em matéria de texto científico. E se por um lado a colaboração quase exclusiva e constante dos que já abandonaram a Escola, e trabalham na profissão, permitiu à revista atingir o nível técnico e científico que alcançou, pelo outro quase parece tornar deslocada a comparticipação directa daqueles na sua *revista, isto é. que nela figurem as publicações próprias dos Alunos.*

Creio no entanto ser conveniente, e não ficaria mal guardar, na «Técnica», um cantinho para «Trabalhos dos Alunos» pois isto constituiria para estes um estímulo.

É com base nesta ordem de ideias que me pareceu útil publicar alguns dos trabalhos experimentais realizados pelos Alunos do 6.º Ano. Houve, no entanto, que escolher dentre estes os que puderam apresentar melhores resultados e demonstraram maior cuidado e interesse ou mesmo originalidade na realização dos mesmos. Isto constitui um «prémio» mas, ao mesmo tempo, para alguns, uma «lição» a meditar porque depois de passadas as coisas a «letra redonda» se vê mais claramente como se poderia ter melhorado um resultado se se tivesse dedicado maior atenção ainda à realização do trabalho.

Constitui também um estímulo para Alunos futuros, tendente a despertar o interesse pelo trabalho experimental, muitas vezes tão mal compreendido ou até «desdenhado». Recordo-me de, em tempos, um Aluno do 1.º Ano me dizer no fim da aula prática: «Já acabei tudo, *posso sair?». Porém aquele «tudo» na boca do Aluno era proferido com um ar de alívio e de «superioridado» que mostra claramente, como para muitos deles, é encarado o trabalho de laboratório. É facto frequente, hoje ainda, um Aluno, mesmo dentre aqueles quese situam muito acima da média intelectual corrente, a qual na nossa Escola é já elevada, contactar no Laboratório com factos de relevo sem se quer deles se dar conta porque... o trabalho experimental não é, para eles, suficientemente... «importante». Parece haver correntemente a ideia de que o trabalho realizado nos laboratórios consta apenas de certo «ritual» a cumprir, mais ou menos enfadonho ou mais ou menos curioso, mas... um «ritual».*

Ora o trabalho experimental tem um poder formativo extremamente grande, escusado será explicar porquê, e é esta razão que me leva a ser tão «insistente» nas aulas práticas e aconselhar que nada é «ínfimo» porque todas as coisas grandes são constituídas por «pequenas coisas».

É pois, repito, com base nesta ordem de ideias que contamos poder publicar alguns trabalhos realizados durante este ano lectivo. São «pequenos resultados» sem a pretensão nem sequer a preocupacão de serem originais, embora nalguns casos o sejam; são trabalhos realizados durante as aulas práticas, isto é, em regime de classe, e é portanto sob este ângulo que devem ser considerados.

Parece-me assim, que o lugar por nós ocupado na «Técnica» não será demasiado,

---

(1) Trabalho realizado na Cadeira de Laboratórios III.

(2) Este mesmo tema foi começado a estudar no ano lectivo transacto pelos então Alunos: Carlos Lopes Saraiva, Carlos Pacheco Fernandes e Carlos de Gouveia Capelão, mas os seus resultados, por motivos alheios à vontade de todos, ficaram muito incompletos.

tanto mais que os assuntos a tratar foram escolhidos dentre as diversas questões relacionadas com os Estados de Superfície dos Metais, assuntos estes que se procura constituam a principal directriz da actividade do Laboratório de Electroquímica do I. S. T., e cuja importância industrial é muito grande; e ainda porque alguns destes assuntos têm sido menos divulgados em língua portuguesa podendo portanto interessar os leitores da nossa Revista.

ENG. I. M. MELEÇAS GAGO

1 — A CORROSÃO CATÓDICA DO CHUMBO E A FORMAÇÃO DE HIDRIDOS

A desintegração catódica do chumbo observada desde o fim do século XIX como curiosidade científica retoma hoje um papel de grande importância em virtude do desenvolvimento das técnicas de protecção catódica e das suas aplicações aos condutores subterrâneos.

O estudo deste tipo de corrosão é dificultado pela complexidade e número dos factores que influenciam os aspectos energético e cinético da desintegração dos cátodos de chumbo.

Só muito recentemente apareceram dados quantitativos referentes ao efeito da temperatura, concentração, pH e densidade de corrente (1).

Em 1895 C. J. Reed observou a emissão de uma núvem negra a partir de um cátodo de chumbo submetido a densidades de corrente apreciáveis (2). O pó negro constitutivo desta núvem revelou, por análise, as propriedades do chumbo.

O mesmo autor verificou idêntico fenómeno com diversos electrólitos contendo sais de potássio, sódio, magnésio, cálcio, alumínio, manganés, estrôncio, amónio e ainda com ácido fosfórico. Não pôde, no entanto, obter o mesmo resultado com alguns sais e hidróxidos de bário, cálcio, amónio, estrôncio e potássio. Observou ainda que não se verificava a pulverização do chumbo em soluções contendo iões capazes de se depositarem por electrólise e em soluções de ácidos fortes com «grande afinidade para o chumbo».

Em 1898, F. Haber considerou a hipótese de utilizar o chumbo pulverulento obtido por estes processos na preparação de acumuladores de chumbo obtendo contudo capacidades mais pequenas do que as obtidas pelo processo de oxidação anódica seguida de redução do O_2Pb.

F. Haber e G. Bredig estudaram a pulverização catódica do chumbo em meio ácido e alcalino tendo concluído que:

— em meio ácido a desintegração toma lugar em soluções muito diluídas e interrompe-se espontâneamente ao fim de algum tempo;
— pelo contrário, em meio alcalino a desintegração é contínua;
— em ambos os casos a reacção é inibida pela presença de pequenas quantidades de dicromato alcalino. Atribuiram este fenómeno à deposição de crómio à superfície do cátodo.

Interpretaram estes autores a desintegração em meio alcalino como resultado da formação duma liga chumbo-metal alcalino que, decompondo-se, liberta chumbo pulverulento e reconduz o ião alcalino à solução.

Em 1903, M. Sack, pretendendo comprovar experimentalmente a hipótese da liga metálica verificou que numa solução 3 M de hidróxido de sódio não agitado, a desintegração tomava lugar a partir de uma tensão de eléctrodo de — 1,52 volt com uma densidade de corrente cujo valor variava consideràvelmente com o estado de superfício dos eléctrodos. Interrompendo e restabelecendo a corrente, a corrente mínima de desintegração passava de alguns décimos de ampére cm^{-2} e alguns ampére cm^{-2}.

Recentemente têm surgido trabalhos que propõe mecanismos baseados na formação de hidridos de chumbo, hipótese admitidas já por B. Kabanov e G. Jofa em 1939.

Um suporte experimental do mecanismo do hidrido que se tem procurado obter é a síntese de compostos hidrogenados do chumbo. Certos autores obtiveram em várias circunstâncias hidridos com composições estequiométricas variáveis, voláteis e decomponíveis em chumbo metálico. Paneth aperfeiçoou um método que, dando boas provas na síntese de muitos hidridos metálicos e evidenciando formação de um composto gasoso hidrogenado de chumbo, não permitiu contudo isolar e analisar quìmicamente o composto formado.

Recentemente (1953-57) o problema foi reto-

mado de novo e considerado à luz de conceitos termodinâmicos e cinéticos. Contudo não foi proposta ainda nenhuma teoria capaz de estabelecer um mecanismo interpretativo de todos os factos observados experimentalmente.

Os primeiros destes trabalhos mais recentes devem-se a H. Salzberg (1) (1953) e a M. Pourbaix (1954) (10).

Este último autor procurou essencialmente determinar a zona E — pH de corrosão catódica e orientou o seu trabalho mais num sentido de aplicação directa sem pròpriamente se preocupar com o mecanismo da reacção. Tomando como base a hipótese de que a pulverização catódica do chumbo se deve exclusivamente à formação do hidrido PbH_2, partiu da equação global da provável formação deste:

$$Pb + 2\,H^+ + 2\,\varepsilon \rightleftarrows PbH_2$$

a qual, a ser verdadeira, deve teòricamente ser representável analìticamente por uma expressão da forma (a 25°C):

$$E = Eo - 0{,}059\ pH - 0{,}0295 \log p_{PbH_2} \qquad (1)$$

e portanto, gràficamente num plano E — pH, por um recta com o coeficiente angular 0,059 volt/pH.

Uma tal recta, a existir, deverá situar-se no domínio de imunidade do chumbo e delimitará a zona de imunidade «real», fazendo-a seguir da zona de «corrosão catódica» (fig. 3).

O que há de verdadeiramente interessante no trabalho de M. Pourbaix e J. van Muylder (10) é o explendido resultado que conseguiram obter: grande número de pontos, segundo muito boa linearidade, ao longo de quase toda a zona de de pH (1,1 — 14). Acresce ainda que a recta obtida apresenta uma inclinação muito próxima da recta teórica, divergindo desta apenas de 9mV/pH!

As soluções ensaiadas, sais de aniões diversos, mostraram que aniões não complexantes não têm qualquer influência na formação do hidrido e que a formação deste se realiza a uma tensão bem definida, a pH constante, e muito próxima do valor «reversível». Estes factos parecem confirmar plenamente que durante a desintegração catódica do chumbo apenas tem lugar a formação de PbH_2, segundo a equação acima escrita pelo menos nas condições observadas.

Note-se que estes resultados dizem respeito a soluções fortemente agitadas, isto é, em que o líquido em contacto com o metal se renova continuadamente, pois caso contrário a tensão de formação do hidrido é constante e a recta E — pH é paralela ao eixo do pH, passado pela ordenada — 2,1 Volt, valor este correspondente à tensão de formação do hidrido em soluções agitadas e a pH = 14. Os autores atribuem este facto à forte alcalinização da interfase metal-solução, como resultado da intensa descarga de hidrogénio, alcalinização que se mantém independentemente do valor do pH inicial da solução.

Aquela tensão será pois o valor limite de separação entre a zona de imunidade e a de corrosão catódica.

Os trabalhos de Salzberg (1) (3) (4) (5) baseiam-se sobre dados cinéticos.

Este autor determinou as velocidades de dissolução catódica do chumbo por perda de peso de cátodos submetidos a altas densidades de corrente em soluções de pH, força iónica e temperatura variada tendo concluído que:

- acima de uma densidade de corrente crítica há uma proporcionalidade directa entre a perda de peso e a densidade de corrente. A determinação do número de equivalentes de PbH_2 e PbH_4, que justificariam as perdas de peso verificadas, permitiu concluir que, em soluções alcalinas, é de admitir a formação de PbH_2. Contudo para forças iónicas mais elevadas (a partir de ClK ou OHNa 4M) verificam-se rendimentos de corrente muito mais baixos sendo de admitir a formação de PbH_4;
- a velocidade da reacção e a corrente mínima de reacção descem com a temperatura;
- a diminuição do pH aumenta a densidade de corrente limiar embora se mantenha constante a inclinação da recta perda de peso em função da densidade de corrente;
- a velocidade de reacção é directamente proporcional à actividade da água (efeito da força iónica).

Em resumo, a velocidade é uma função directa da densidade de corrente e da actividade da água e uma função inversa da temperatura e da acidez, o que permite adoptar uma equação empírica da forma

$$\frac{\text{perda de peso}}{\text{cm}^2 - \text{min}} = K_1\ i\ (OH_2)\ e^{+E_1/RT} - K_2\ [(1 + K_3\ (OH_3^+)]\ e^{+E_2/RT}$$

Em face destes resultados Salzberg propõe o seguinte mecanismo

em que Pb (H) representa hidrogénio quimiadsorvido, o índice *a* hidrido adsorvido e o índice *g* hidrido gasoso.

A partir de uma densidade corrente crítica atingida a um potencial de electrodo suficiente temos uma formação de hidrido adsorvido em quantidade que, de acordo com a reacção

$$Pb\,(H) + OH_2 + \varepsilon \rightarrow Pb\ H_{2a} + OH^-$$

depende da corrente e da actividade da água. Uma fracção deste hidrido volatiza-se e decompõe-se dando origem ao aparecimento duma núvem de Pb metálico.

Em meio ácido o composto de superfície decompõe-se antes de se volatizar e só a uma densidade de corrente mais elevada, suficiente para diminuir (OH_3^+) é que é possível o aparecimento do chumbo metálico.

O efeito da temperatura é interpretado como um maior aumento da velocidade da decomposição de $Pb\ H_{2a}$ em prejuízo da volatização. Salzberg compara este mecanismo com vários mecanismos possíveis:

- ataque de OH^- com formação de HPb_2^-;
- formação de chumbo coloidal num processo de arco equivalente ao verificado nas experiências de Breeding;
- formação de uma liga solúvel de chumbo e metal alcalino.

Todas estas hipóteses se revelam inadequadas em face dos resultados experimentais.

Em particular este último mecanismo não permite justificar a desintegração em meio ácido em que não estejam presentes iões alcalinos nem a independência da velocidade de reacção relativamente à concentração desses mesmos iões. O coeficiente de temperatura negativo só muito artificiosamente poderia ser explicado.

Recentemente Angerstein, não tendo conseguido observar a desintegração catódica em soluções 0, 1 a 1 M em $SO_4\ H_2$ na ausência de iões alcalinos, retomou a hipótese da liga solúvel.

L. W. Gastwist e Salzberg (3) mostraram no entanto que Angerstein ficou abaixo das densidades requeridas para a desintegração em meio ácido e, admitindo que a superfície do eléctrodo está saturada de hidrogénio atómico adsorvido antes de se atingirem as tensões de formação de $Pb\ H_2$, explicam os dados obtidos relativos à inibição em meio ácido e à inibição pelo ião amónio como sendo contrariada pela presença de pequenas quantidades de ácido.

Paralelamente foram levados a cabo trabalhos referentes à desintegração catódica do estanho e do antimónio que confirmam a hipótese da formação de hidridos instáveis embora os resultados obtidos obriguem a considerar mecanismos bastante diferentes do proposto para o chumbo (4) (5).

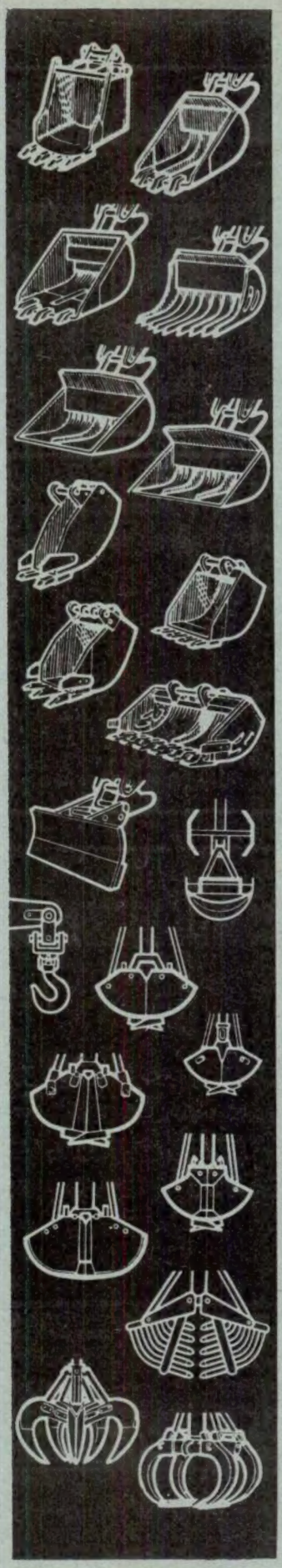
O simples enunciado destas conclusões é suficiente para dar ideia da complexidade deste problema e mostra quanto o estudo da corrosão catódica dos metais, em geral, está ainda pouco desenvolvido.

2 — OBJECTIVO DO PRESENTE TRABALHO

Por se tratar dum assunto com muito interesse resolvemos abordar o estudo da corrosão catódica do chumbo apesar de todas as dificuldades que se anteviam.

Como é evidente o nosso intuito ao proceder a este estudo não era procurar trazer nova contribuição para o exclarecimento do problema, mas apenas abordá-lo procurando confirmar as observações anteriormente feitas por outros.

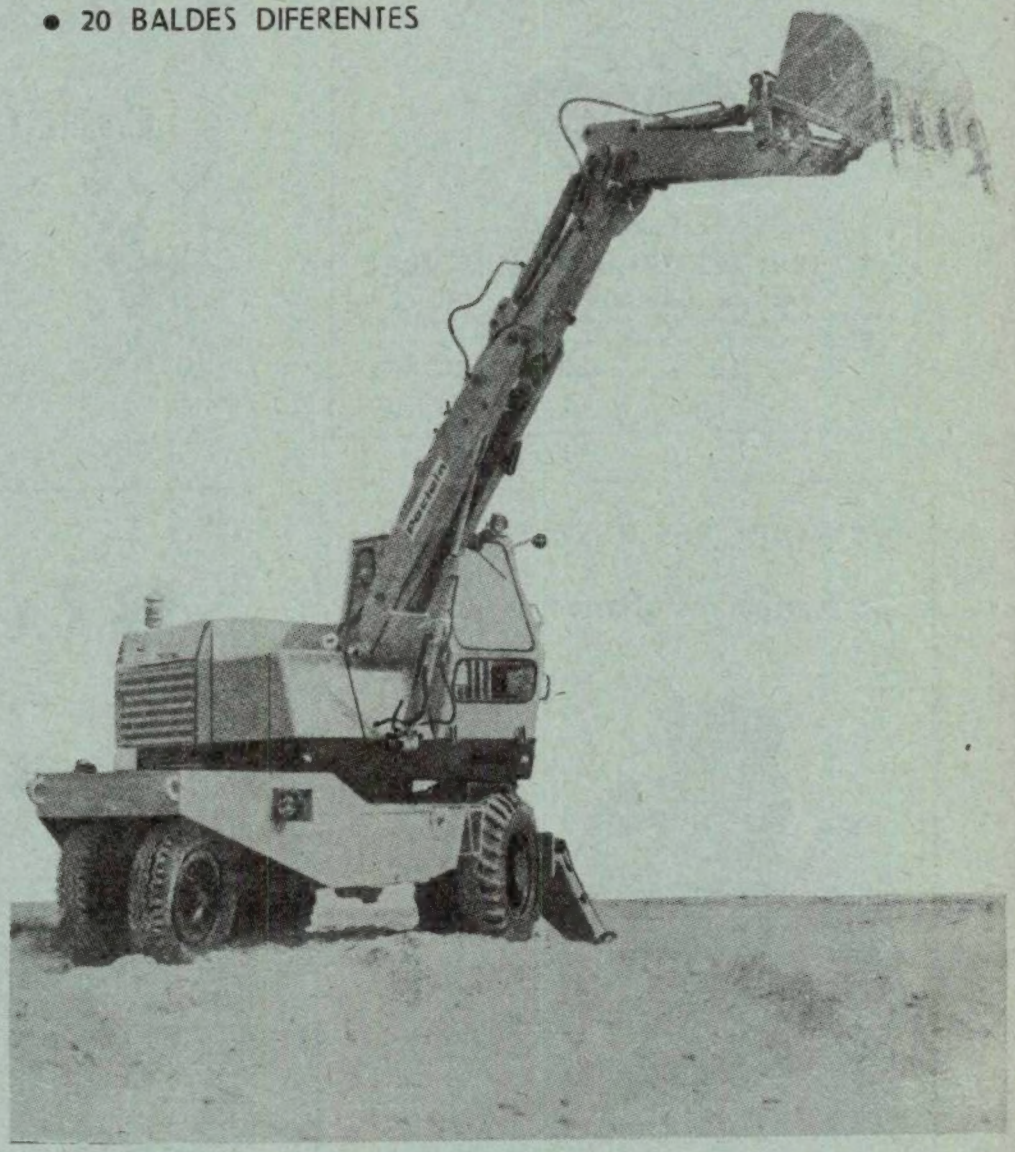
Por ser mais consentâneo com as condições



Poclain T.Y. 45

Escavadora-Retro Escavadora-Grua

- POTÊNCIA AUMENTADA
- ROTAÇÃO TOTAL E CONTÍNUA
- ESTABILIDADE 100 %
- 20 BALDES DIFERENTES



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola, S. A. R. L.
Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B-1.º — LISBOA
Telefone: 72 40 53 / 4 / 5

SMEIA

Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kg/cm²

AÇO BI

Tensão de segurança 4.000 Kg/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

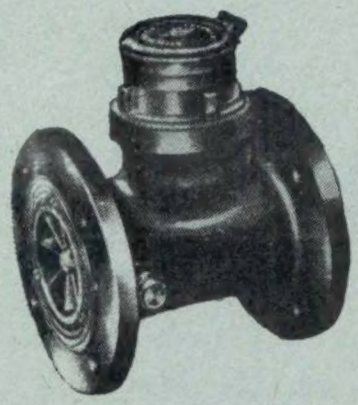
Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TECNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º Dt.º
TELEFONES 67122415 E 673785 — LISBOA

CONTADORES PARA LÍQUIDOS

Sistema "Woltman"



LANGE

De:

50 m/m

a

300 m/m

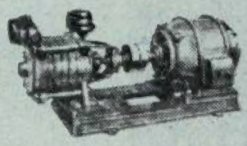
REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

Técnica de Hidráulica e de Electricidade, Ld.ª

47-A RUA DO ALECRIM 47-B

LISBOA

BOMBAS



Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

de trabalho de que podiamos dispor, procurámos seguir caminho análogo ao de M. Pourbaix e J. van Muylder (10) tentando reproduzir os valores obtidos por estes investigadores.

Nas suas linhas gerais o nosso trabalho consistia pois essencialmente em determinar a tensão de formação do hidrido PbH_2, ou seja a tensão catódica à qual se começa a dar a pulverização do chumbo, em soluções com composição e pH diversos e marcar os respectivos valores num diagrama E — pH do sistema Pb — OH_2 a fim de delimitar as zonas de imunidade e corrosão catódica «reais».

Estas determinações implicam portanto a obtenção das curvas de sobretensão do hidrogénio sobre o chumbo, nas diversas soluções, dentro duma zona de densidades de corrente que vão até á «densidade crítica de formação» ou mesmo a ultrapassam.

A dificuldade do trabalho está em que a sobretensão do hidrogénio é extremamente influenciada por inúmeros factores entre os quais as impurezas mesmo em pequeníssimas quantidades e outros que mais adiante se referirão. Este facto justifica provàvelmente a disparidade de valores que encontrámos em relação aos valores obtidos pelos autores citados.

3 — MÉTODO EXPERIMENTAL

A electrólise foi realizada numa cuva de vidro acrílico, paralelipipédica com $8 \times 12 \times 12$ cm^3, (fig. 1), contendo um reservatório interior, do mesmo material, destinado ao anólito o qual fica separado do católito por meio dum diafragma de vidro poroso fixado com um gel de agar-agar impregnado com os mesmos iões das soluções ensaiadas. A cuva tem entradas para um termómetro, uma «ponte», os electrodos, um agitador mecânico accionado elèctricamente mas assegurando vedação completa e ainda uma entrada para hidrogénio, uma saída para o mesmo, bem como para o oxigénio libertado anòdicamente.

O ânodo era de Pt de forma rectangular. Usaram-se cátodos de Pb de pureza-99,9 % polidos electrolìticamente num banho com a composição: ácido perclórico 350 ml, anidrido acético 630 ml e água 20 ml, tendo sido prèviamente lixados e desengordurados com acetona bidestilada. Durante o polimento manteve-se uma temperatura de cerca de 10°C e considerou-se uma densidade de 16,5 A/dm^2 durante os primeiros 2 minutos e uma densidade final de 12 A/dm^2 durante 5 a 10 minutos (ou mais quando necessário). No final lavaram-se os eléctrodos com ácido perclórico

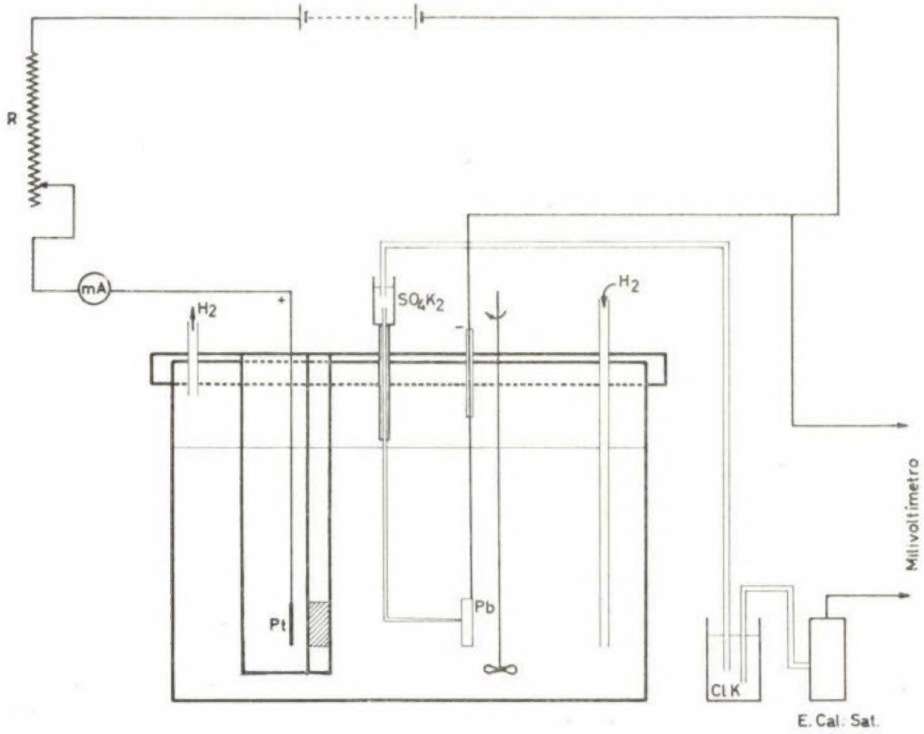


Fig. 1 — Cuva de electrólise e esquema de montagem